

TARTU RIIKLIKU ÜLIKOOLI TOIMETISED
УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
ТАРТУСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ALUSTATUD 1893. a.

VIINIK 140 ВЫПУСК

ОСНОВАНЫ в 1893 г.

ТРУДЫ ПО АЭРОИОНИЗАЦИИ
И ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЯМ



TARTU 1963

TARTU RIIKLIKU ÜLIKOOLI TOIMETISED
УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
ТАРТУСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ALUSTATUD 1893. a. VIINIK 140 ВЫПУСК . ОСНОВАНЫ в 1893 г.

ТРУДЫ ПО АЭРОИОНИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЯМ

TARTU 1963

Redaktsioonikolleegium:

S. Baron, P. Kard, V. Kark (toimetaja), I. Kull, Ü. Lepik, V. Palm ja K.-S. Rebane.

Редакционная коллегия:

С. Барон, П. Кард, В. Карк (редактор), И. Куль, Ю. Лепик,
В. Пальм и К.-С. Ребане.

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТАХ В ОБЛАСТИ ЕСТЕСТВЕННОЙ И ИСКУССТВЕННОЙ АЭРОИОНИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЕЙ В ТАРТУСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Я. Ю. Рейнет, П. К. Прюллер и О. В. Сакс

Научные исследования в области ионизации атмосферы первым предпринял в гор. Тарту в 1936—1938 гг. А. Митт, но это дело ограничилось только одной работой в связи с соисканием ученой степени магистра, которая охватывала лишь незначительный по объему раздел из области ионизации атмосферы [1].

Эта работа была проведена в условиях, царивших в Тартуском университете буржуазной Эстонии, где отсутствовала аппаратура, пригодная для научных исследований в этой области.

А. Митт провел исследования с помощью аспиратора, предложенного Гердиеном в начале текущего столетия, который был предусмотрен для измерения проводимости воздуха (λ) и приспособил его для измерений плотности ионов (n)

Хотя в 1937 г. в Западной Европе и Соединенных Штатах Америки был в употреблении ряд более подходящих аппаратов (Свани, Вегер, Григер, Торресон и Вайт, Кялер, Израэль и др.) в Тартуском университете не было ни одного из них. Из-за отсутствия средств не было и возможности приобретения необходимой аппаратуры. Лишь в условиях советской власти в Тартуском гос. университете стало возможным начать обширную и многостороннюю исследовательскую работу в области ионизации воздуха.

В 1950 г. Я. Рейнет сконструировал первый соответствующий современным требованиям комбинированный счетчик атмосферных ионов вместе с чувствительным механическим электрометром [2. 3]. С помощью этого счетчика Х. Марран и Я. Рейнет провели в 1951 г. в Тарту обширную работу в области исследования спектра атмосферных ионов, начиная с молионов до ультратяжелых ионов. В результате работы были написаны две диссертации относительно изменений ионизации атмосферы.

ры в Тарту [4], из которых одна* еще не защищалась вследствие того, что представленные в диссертации материалы и результаты пока не опубликованы в печати в полном объеме.

В ходе работы Х. Марран [5] создал так называемый «метод направляющих графиков», давший возможность в городских условиях более основательно выяснить метеорологические и местные факторы, влияющие на ионизацию воздуха.

Результаты этих исследовательских работ помогли всесторонне выяснить состояние ионизации приземного слоя атмосферы в гор. Тарту [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9], причем было установлено наличие большого количества промежуточных ионов ($1,0 > k \geq 0,1$ см²/сек в) в атмосфере и получены в течение нескольких лет подробные сведения относительно спектральной области как молионов ($k \geq 1,0$ см²/сек в), так и легких ионов ($k \geq 0,1$ см²/сек в)

В ходе этих исследований возникла необходимость поисков новых методов и конструирования аппаратуры, которая позволила бы подробно выяснить характер спектра ионов и следить за его изменениями.

Пришлось создать счетчики и спектрометры, у которых было бы устранено влияние краевого эффекта, не существовало бы заметной поляризации диэлектриков и утечки зарядов по изоляторам. Это задание выполнили, используя счетчики аспирации, работающие по методу разряда и снабженные высокочувствительными электрометрами; притом изоляторы, подпирающие измерительную систему электрометра, не подвергаются изменениям электрического поля, будучи окруженными проводящими покрытиями, имеющими равный потенциал с внутренним электродом упомянутого счетчика [10, 11, 12].

Параллельно с конструированием новых счетчиков и спектрометров возник вопрос автоматизации работы счетчиков. В этой области продолжительное время работал О. Сакс [13].

Систематические измерения ионизации атмосферы гор. Тарту проводил в течение двух последних лет П. Прюллер с помощью комбинированного счетчика атмосферных ионов [2, 3], который снабжен автоматическим приспособлением [13] для фотографической регистрации результатов измерения, сконструированным О. Саксом.

Измерения ионизации атмосферы гор. Тарту, проведенные в 1961 г., показывают, что по сравнению с 1951 годом уровень ионизации атмосферы гор. Тарту в основном остался прежним.

Комбинированный счетчик усовершенствован О. Саксом и в смысле применимости его для непрерывной регистрации ионного тока. При регистрировании последнего измеряемый ток прохо-

* Х. Марран, Колебание плотности тяжелых ионов в атмосфере в гор. Тарту в 1951 г.

дит через высокоомное сопротивление ($R = 0,89 \cdot 10^{11}$ ом), причем падение потенциала на сопротивлении измеряется с помощью динамического электрометра и регистрируется самопишущим потенциометром, включенным на выход динамического электрометра. Отклонение стрелки потенциометра пропорционально концентрации ионов. Нулевая точка находится посередине шкалы потенциометра. Справа от нуля регистрируется концентрация положительных ионов 20—2000 эл. зар./см³, а слева на том же протяжении — отрицательных. Посредством регистрирующего приспособления возможно проследить изменения концентрации ионов на величину $\Delta n = 20$ эл. зар./см³, что соответствует изменению силы тока в счетчике $i \cong 2 \cdot 10^{-15}$ а.

В области теоретических проблем, связанных с постройкой счетчиков и спектрометров, работал Х. Таммет [14].

Счетчики и спектрометры, разработанные в Тартуском гос. университете, изготовлялись до сих пор лишь для отдельных научно-исследовательских учреждений СССР (для Института экспериментальной медицины АН Латвийской ССР Пермского научно-исследовательского угольного института и т. д.)

Недавно создан портативный счетчик ионов, снабженный динамическим электрометром и самопишущей установкой для исследования как искусственной, так и естественной ионизации атмосферы.

Исследование проблем, связанных с применением искусственной ионизации, а также электроаэрозолей в медицине, промышленности и сельском хозяйстве является одной из наиболее важных задач, подлежащих изучению в настоящее время.

Для всестороннего выяснения действия аэроионов на живые организмы (человека, животных, растения, семена и т. д.) сконструированы различные аэро- и аэрозольионизаторы, с помощью которых ионизируется воздух, медицинский кислород или распыленные в воздухе жидкости (аэрозоли)

Одним из первых аэроионизаторов, разработанных и нашедших применение в медицине в гор. Тарту, является высокочастотный электроэффлювиальный коронный аэроионизатор [15, 16]. Здесь ионизация воздуха происходит под действием импульсов выпрямленного высокочастотного высокого напряжения. Аэроионизаторы, разработанные на основе принципа коронной ионизации, были позднее усовершенствованы в отношении конструкции, а также были уменьшены их габариты [17, 18, 19].

Следует отметить, что в последнее время при научно-исследовательских работах в области аэроионизации в США стали также пользоваться коронными ионизаторами.

Простым по конструкции является и разработанный в Тартуском гос. университете термоионизатор [20], где ионизация воздуха создается посредством накаливания в сильном электрическом поле нити накала (нихромовая проволока), причем иони-

зированный воздух разносится в помещении в основном конвекционными потоками.

Этот термоионизатор отличается по конструкции от бывшего ранее в употреблении термоионизатора немецкого биофизика Дессауэра.

В термоионизаторе Дессауэра раскаленный стерженек эмитирует биполярно ионизированные частицы (окись кальция или магния), которые при помощи соответствующего компрессора направляются через электрофильтр, находящийся под высоким напряжением, после чего остаются лишь униполярно заряженные частицы.

Аэроионизатор Дессауэра не нашел широкого применения вследствие своей сложной и дорогой конструкции и большого расхода энергии.

В Тартуском гос. университете были также проведены некоторые усовершенствования радиоактивного аэроионизатора проф. А. Б. Вериге [21] и был разработан аэроионизатор с ультрафиолетовым излучателем [22], которым за последнее время стали пользоваться на сельскохозяйственных фермах.

Для исследования действия гидроаэроионизации были разработаны гидроаэроионизаторы нового типа [23, 24], с помощью которых возможно в помещениях, где имеется водопровод, создать либо отрицательную, либо положительную, а также и биполярную ионизацию. Ионизация создается здесь распылением воды в электрическом поле. Электрически заряженные гидроаэроионы выдуваются посредством вентилятора в помещение. Изменяя полярность и напряженность электрического поля и регулируя скорость воздушного потока между обкладками, можно создать в помещении желаемую гидроаэроионизацию.

Гидроаэроионизаторы, бывшие раньше в применении в Советском Союзе, работали на основе известного в физике балло-электрического эффекта, давая притом лишь слабую отрицательную ионизацию.

Так как за последнее время в медицине начали уделять особое внимание электроаэрозольной терапии (особенно успешно она применялась при лечении силикоза и многих других болезней), то центральной проблемой исследовательских работ стали вопросы, связанные с генерированием электроаэрозолей, с измерением их массы и зарядов и с использованием электроаэрозолей в медицине, ветеринарии и промышленности.

Из генераторов электроаэрозолей, разработанных в Тартуском гос. университете, можно было бы упомянуть т. н. паровой ингалятор-ионизатор [25], аэрозольионизатор [26] и аэрозольионизатор к аппарату искусственного дыхания [27].

Одним из существеннейших вопросов, разрешенных в Тартуском гос. университете, результаты чего нашли затем успешное применение в медицине, является вопрос ионизирования

кислорода. Ингаляцией пониженокислородного и подкож-ными введениями последнего в медицине выдвинута новая проб-лема в области кислородной терапии [28, 29, 30, 31]. Кажется, что дальнейшее исследование этого вопроса является необхо-димым в связи с исследованием возможностей использования кислорода при космических полетах.

Аэроионизаторы, электроаэрозольаппараты, счетчики и ин-дикаторы ионов экспонировались в течение ряда лет в Москве на Всесоюзной выставке достижений народного хозяйства и на Советской выставке в Праге, Лондоне и Париже, а также на Всемирной выставке в Брюсселе. По примеру сконструирован-ных в Тарту образцовых экземпляров позднее и в иных местах стали использоваться и сдаваться в производство различные впервые здесь разработанные аппараты.

Благодаря межкафедральному сотрудничеству, в особенно-сти между кафедрой общей физики физико-математического фа-культета и кафедрами медицинского факультета, в Тартуском гос. университете установлены новые направления в исследова-тельской работе в области аэроионизации и электроаэрозолей (ионизация медицинского кислорода, электроаэрозольная тера-пия с применением аппаратов искусственного дыхания и т. д.).

Наиболее обширно были применены результаты исследова-тельских работ кафедры общей физики в медицинской практике преподавателями медицинского факультета Э. Сийрде (зав. ка-федрой оториноларингологии) и Э. Раудам (зав. кафедрой нев-рологии)

Коллектив научных работников, руководимый Э. Сийрде, на-чиная с 1957 года, опубликовал ряд исследований. Как видно из опубликованных работ [32, 33, 34, 35, 76], при лечении отрица-тельно ионизированным воздухом получены положительные ре-зультаты при атрофическом рините, бронхиальной астме и в осо-бенности озене. Э. Сийрде * провел в широких масштабах срав-нение лечения аэрозолями и электроаэрозолями. В результате его исследовательской работы совместно с В. Сяргави установ-лено, что электроаэрозольное лечение оказывается как по био-логическому действию, так и со стороны лечебного эффекта более эффективным, чем аэрозольная терапия и аэроионизация [36, 37, 38]. Э. Сийрде и его сотрудники установили также, что отрица-тельно заряженные электроаэрозоли: 1) оказывают локальное воздействие, повышая активность мерцательного эпителия изо-лированного пищевода лягушки [39, 40, 41] и увеличивая конт-ракции сердца лягушки [36, 40], в противовес положительно за-

* В отделении уха-горла-носа Тартуской республиканской клинической больницы проведено приблизительно 50 000 отдельных процедур в области аэроионизационной, аэрозольной и электроаэрозольной терапии, что охваты-вает примерно 5 000 пациентов.

ряженным электроаэрозолям (подобного локального действия аэроионы не проявляют); 2) повышают количество оксигемоглобина в крови, особенно заметно при распылении в струе кислорода, каковых явлений не отмечалось при ингаляции только кислорода [36]; 3) нормализуют тонус кровяных сосудов и температуру слизистой оболочки носа, улучшая кровяное снабжение ее [38, 40, 42, 43]; 4) уменьшают щелочную реакцию носовых выделений, что бывает при болезненных изменениях в носу [44, 45]; 5) снижают кровяное давление [40].

Экспериментальные исследования Э. Сийрде относительно биполярной ионизации указывают на ее сравнительно слабое действие [46]. Экспериментальные исследования действия аэрозолей [47] на морских свинок, зараженных туберкулезом, начаты также А. Йентсом [48], а изучение влияния на них отрицательной и положительной ионизации — С. Сибуль [49].

Коллектив врачей, работающий под руководством Э. Раудам, занимался главным образом двумя, до сих пор совершенно новыми, проблемами в медицине, а именно: 1) ингаляция и подкожное введение ионизированного кислорода и 2) ингаляция электроаэрозолей в рабочем режиме аппарата искусственного дыхания.

В работах Э. Раудам доказано, что применение ионизированного кислорода сулит большие возможности при лечении как нервных, так и многих других заболеваний, а также в профилактических целях.

Следует также упомянуть, что применение аэрозолей и электроаэрозолей в аппаратах искусственного дыхания при Республиканском респираторном центре в Тарту резко снизило количество легочных осложнений у трахеотомированных больных полиомиелитом [50, 51, 52].

Кроме вышеупомянутых работ, в Тарту изучалось влияние аэроионизации на кожные заболевания — Х. Вахтер [53, 54], воздействие подкожного введения ионизированного кислорода на животных — К. Таммера [55], действие продолжительной ингаляции ионизированного воздуха на животных — Р. Лоога и М. Куль [56] и влияние ионизации воздуха, созданной эффлювимальным аэроионизатором, на растения и семена — В. Ритс-лайд [57, 58].

В Институте животноводства и ветеринарии АН Эст. ССР началось исследование результатов применения аэрозолей и электроаэрозолей в борьбе с легочными паразитами животных.

Широкое применение электроаэрозолей вызвало необходимость исследования их физических свойств. Над этими проблемами работают П. Прюллер, Я. Рейнет, Э. Тамм и В. Краав [59, 60, 61, 62, 63, 64, 27]. Последняя исследует зависимость зарядов аэрозолей от рН [64].

Я. Сальм вместе с Х. Тамметом исследовали вопрос иониза-

ции воздуха больших помещений посредством франклинизационного аппарата, а возможности применения аэроионизаторов и электроаэрозольных аппаратов в промышленности анализировал Я. Рейнет [65]. Распространение в помещении униполярно ионизированного воздуха рассматривалось также в теоретических трудах [66, 67].

В настоящее время Л. Виснапуу и Я. Рейнет пытаются разработать на основе коронного разряда и индукционного метода способ электростатической окраски, а Т. Пярник и Я. Рейнет — нейтрализатор статических зарядов, основывающийся на коронном разряде, для типографий и текстильных предприятий. Последний из упомянутых вопросов является уже с некоторых пор актуальным в лаборатории аэроионизации и электроаэрозолей Тартуского гос. университета [69].

Следует отметить, что за последнее время достигнуты некоторые результаты в области конструирования ионизационных детекторов. Разработан подходящий ионный детектор к газовому хроматографу, изготовляемому на Таллинском заводе измерительных приборов. По этому вопросу был сделан коллективный доклад (Ю. Пускар, М. Вахеметса, В. Корнель и Я. Рейнет) на II Всесоюзной конференции по газовой хроматографии в Москве, в марте 1962 г [77].

В настоящее время разрабатываются конструкции аэроионизаторов и электроаэрозольных аппаратов для производства их в промышленных масштабах. Одновременно начата разработка новых точных измерительных приборов для исследования спектра аэроионов и плотности зарядов электроаэрозолей, а также индикаторов для измерения потока электрически заряженных частиц и т. д. [70, 71, 72, 73, 74, 75, 78].

В будущем предполагается углубить научно-исследовательскую работу по ионизации воздуха и электроаэрозолям преимущественно в области теоретических проблем и при исследовании воздействия аэроионов и электроаэрозолей на живые организмы исходить главным образом с точки зрения биофизики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Митт А., Колебания плотности молионов в атмосфере г. Тарту за 1937 год. Ученые записки ТГУ, 1946, 2, 3—43.
2. Рейнет Я. Ю., Комбинированный счетчик атмосферных ионов. Труды Главной Геофизической обсерватории им. И. А. Воейкова, 1956, 58, 120, 23—30.
3. Рейнет Я. Ю., Комбинированный счетчик атмосферных ионов. АН СССР. Институт технико-экономической информации, Москва, 1955, тема 4, № ПС-55-409, 1—17.
4. Рейнет Я., Об изменениях ионизации атмосферы в гор. Тарту. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, Тарту, 1958. (На эстонском языке).
5. Марран Х., Об исследовании связи между плотностью атмосфер-

- ных ионов и метеорологических элементам. Ученые записки ТГУ Тарту, 1958, 59, 108—138.
6. Рейнет Я. Ю., Об изменениях ионизации атмосферы в гор. Тарту. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Тарту, 1958.
 7. Рейнет Я., Об изменениях ионизации атмосферы в г. Тарту в течение годовичного периода. Труды по геофизике, Ученые записки ТГУ, 1958, 59, 71—107.
 8. Рейнет Я., Об изучении атмосферной ионизации в г. Тарту. Первая конференция секции точных наук. Общ-во естествоиспытателей при АН ЭССР, Тарту, 1959, 29—39. (На эстонском языке).
 9. Рейнет Я., Характеристика плотности легких ионов. Общ-во естествоиспытателей при АН ЭССР «Природа и математика», Тарту, 1959, 1, 93—122.
 10. Рейнет Я., Новая аппаратура и методика для определения плотности аэро- и гидроаэроионов в атмосфере. Труды по геофизике, Ученые записки ТГУ, 1958, 59, 41—70.
 11. Рейнет Я. Ю., Авторское свидетельство № 120272 на изобретение «Счетчик аэро- и гидроионов» от 5 октября 1957 г.
 12. Рейнет Я. Ю., Новая аппаратура и методика для определения концентрации аэро- и гидроионов в атмосфере. Вопросы курортологии V, Рига, 1959, 45—52.
 13. Сакс О., Автоматически действующий фотографический счетчик ионов. Ученые записки ТГУ, 1956, 42, 84—93.
 14. Таммет Х. Ф., К теории аспирационных счетчиков аэроионов. Изв. АН СССР, сер. геофиз. 1960, 8, 1263—1270.
 15. Прюллер П. К., Рейнет Я. Ю., Кийс В. Ю., Высокочастотный электроэффлювиальный аэроионизатор. Передовой научно-технический и производственный опыт. Филиал Всесоюзного института научной и технической информации, Москва 1957. тема 34, № П-57-24/6, 3—9.
 16. Прюллер П. К., Рейнет Я. Ю., и Кийс В. Ю., Авторское свидетельство № 107932 на изобретение «Аппарат для аэроионизации» от 1-го марта 1956 г.
 17. Таммет Х. Применение коронного разряда для ионизирования воздуха. Вопросы курортологии V, Рига, 1959, 53—59.
 18. Таммет Х. Ф., Авторское свидетельство № 115904 на изобретение «Коронный аэроионизатор» от 15 апреля 1958 г.
 19. Таммет Х. Ф., Авторское свидетельство № 122642 на изобретение «Портативный коронный ионизатор» от 1 дек. 1958 г.
 20. Рейнет Я. Ю., Митт А. М. и Марран Х. Э., Термоионизатор для униполярной аэроионизации воздуха. АН СССР, Филиал Всесоюзного института научной и технической информации, тема 34 № П-57-28/7, 12—18, Москва, 1957.
 21. Рейнет Я. Ю., Усовершенствование аэроионизаторов профессора А. Б. Вериги. АН СССР, Филиал Всесоюзного Института научной и технической информации, тема 34 № П-57-28/7, 25—27, Москва, 1957 г.
 22. Рейнет Я. Ю., Установа для ионизации воздуха в помещении. АН СССР, Филиал Всесоюзного института научной и технической информации, тема 34, № П-57-28/7, 19—24. Москва, 1957 г.
 23. Рейнет Я. Ю., Гидроионизатор, АН СССР, Филиал Всесоюзного института научной и технической информации, тема 34, № П-57-28/7, 3—11. Москва, 1957 г.
 24. Рейнет Я. Ю., Авторское свидетельство № 108852 на изобретение «Гидроионизатор для получения гидро- и аэроионов, например, для лечебных целей» от 22 окт. 1956 г.
 25. Рейнет Я. Ю., О новых аэроионизаторах, сконструированных в лаборатории аэроионизации ТГУ, Вопросы курортологии V. Рига, 1959, 31—35.

26. Рейнет Я. Ю. и Таммет Ф. Х., Авторское свидетельство № 123 636 на изобретение «Аэрозоль-ионизатор» от 24 ноября 1958 г.
27. Рейнет Я. Ю., Сузи А. К. и Тамм Э. И., Авторское свидетельство № 131 456 на изобретение «Генератор аэрозолей для аппаратов искусственного дыхания интратрахеальным методом». (Опубликовано в бюллетене изобретений № 17 от 7 января 1960 г.).
28. Раудам Э. И., Рейнет Я. Ю., О действии ионизированного кислорода на некоторые функции организма. Вопросы курортологии V, Рига, 1959, 231—240.
29. Паэ А. Я., Рейнет Я. Ю., Резбен В. А., Тамм Э. И., Ионизатор медицинского кислорода с автоматической стабилизацией температуры накалываемой проволоки. Всесоюзная конференция по аэро- и гидроаэроионизации, Тезисы докладов, Медгиз, УзССР, Ташкент, 1960, 149—150.
30. Рейнет Я. Ю., Ионизатор кислорода и возможности его применения в медицине. Научная сессия ТГУ. Тезисы докладов, Тарту, 1957, 50—51.
31. Раудам Э. И. и Рейнет Я. Ю., Ионизированный кислород и перспективы его применения в медицинской практике. Тезисы докладов V республиканской конференции по курортологии и физиотерапии, г. Пярну, 21—23 сентября 1961 г., Таллин, 1961, стр. 10.
32. Прюллер П. К., Рейнет Я. Ю., Сийрде Э. К., Герасимова К. В., Йентс А. К., О лечении заболеваний дыхательных путей аэроионизацией. Научная конференция оториноларингологов Эстонской, Литовской и Латвийской ССР Тезисы докладов, Рига, 1957, 48—49.
33. Сийрде Э. К., Герасимова К. В., Йентс А. К., Сяргав В. А., Клинические наблюдения при лечении озоны, атрофического ринита и бронхальной астмы отрицательной ионизацией. Вопросы курортологии V, Рига, 1959, 373—377.
34. Прюллер П., Рейнет Я., Сийрде Э., Герасимова К., Йентс А., Высоочастотный электро-эффлювиальный аэроионизатор и клинические наблюдения применения его в медицинской практике. Труды медицинского факультета, Ученые записки ТГУ. Тарту, 1958, 57, 3—12.
35. Сийрде Э., О некоторых физиологических показателях воздействия отрицательных и положительных ионов. Научная сессия ТГУ Тезисы докладов, Тарту, 1957, 66—67 (на эстонском языке).
36. Сийрде Э., Рейнет Я., О кислородном аэрозоль-ионизаторе и некоторых физиологических показателях при применении ионизированного кислорода. Научная конференция медицинского факультета ТГУ Тезисы докладов, Тарту, 1959, 4—5.
37. Рейнет Я. Ю., Сийрде Э. К., Кислородный аэрозольионизатор и некоторые наблюдения при его применении в медицине. Всесоюзная конференция по аэро- и гидроаэроионизации. Тезисы докладов, Медгиз УзССР, Ташкент, 1960, 147—148.
38. Сяргав В. А., О температуре слизистых оболочек верхних дыхательных путей и изменениях ее в связи с аэрозоль-, электроаэрозоль- и аэроионотерапией. Всесоюзная конференция по аэро- и гидроаэроионизации. Тезисы докладов, Медгиз УзССР, Ташкент, 1960, 62—63.
39. Прюллер П., Сийрде Э., Аэрозольионизатор и действие электроаэрозолей на активность мерцательного эпителия пищевода лягушки. Научная конференция медицинского факультета ТГУ Тезисы докладов, Тарту, 1959, 22—23.
40. Сийрде Э. К., О некоторых физиологических показателях воздействия отрицательных и положительных аэроионов и гидроионов. Вопросы курортологии V, Рига, 1959, 215—220.
41. Сийрде Э. К., Прюллер П. К., Аэрозольионизатор и сравнительные наблюдения о действии аэрозолей и электроаэрозолей на активность мер-

- пательного эпителия пищевода лягушки. Всесоюзная конференция по аэро- и гидроаэроионизации. Тезисы докладов. Медгиз УзССР, Ташкент, 1960, 64—65.
42. Сийрде Э., Об изменениях тонуса кровеносных сосудов слизистой оболочки носа под действием отрицательной ионизации. Труды по медицине IV Ученые записки ТГУ, Тарту 1961, 112, 3—7.
 43. Сяргав В., Об изменениях температуры слизистой оболочки верхних дыхательных путей в связи с лечением ионизацией и аэрозолями. Научная конференция медицинского факультета ТГУ, 1959. Тезисы докладов, Тарту, 1959, 8—9.
 44. Сийрде Э. К., Об изменениях pH носовой слизи в связи с отрицательной гидроаэроионизацией. Всесоюзная конференция по аэро- и гидроаэроионизации. Тезисы докладов. Медгиз УзССР Ташкент, 1960, 60—61.
 45. Сийрде Э. К., О pH отделяемого из носа и изменениях его в связи с отрицательной ионизацией. Вестник оториноларингологии 1960, 6, 101.
 46. Сийрде Э., Наблюдения над физиологическим действием биполярной ионизации. Научная конференция медицинского факультета ТГУ 1960 г. Тезисы докладов, Тарту, 1960, 42—43.
 47. Прюллер П., Сийрде Э., Йентс А., Герасимова К., О новом аэрозольном приборе и клинических наблюдениях при его применении. Здравоохранение Советской Эстонии, Таллин, 1959, 2, 32—35.
 48. Йентс А., Об исследовании аэрозолей стрептомицина и парааминосалициловокислого натрия на основании макроскопических изменений экспериментального туберкулеза морских свинок. Труды по медицине IV Тарту, 1961, 114, 204.
 49. Сибуль С., О влиянии отрицательной и положительной аэроионизации на течение экспериментального туберкулеза по макроскопическим изменениям. Труды по медицине IV. Ученые записки ТГУ. Тарту, 1961, 114, 203—204.
 50. Раудам Э., Рейнет Я., Тикк А., Вельди А., Об использовании аэрозолей и электроаэрозолей у трахеотомированных больных полиомиелитом. Научная конференция медицинского факультета ТГУ 1959 г. Тезисы докладов, Тарту, 1959, 7—8. (На эстонском языке).
 51. Раудам Э. И., Рейнет Я. Ю., О применении гидроаэроионов, аэрозолей и электроаэрозолей у трахеотомированных больных с диагнозом полиомиелита. Всесоюзная конференция по аэро- и гидроаэроионизации. Тезисы докладов. Медгиз УзССР, Ташкент, 1960, 106—107.
 52. Раудам Э. И., Рейнет Я. Ю., Тикк А. А., Вельди А. Т. и Тамм Э. И., О применении аэрозолей и электроаэрозолей в острой стадии полиомиелита, особенно у подвергшихся трахеотомии больных. Журнал Невропатологии и психиатрии имени С. С. Корсакова, 1960, LX, 11, 1428—1434.
 53. Вахтер Х., Хуут В., Лаксберг Э., Туул Х., Пыдер П., О действии аэроионизации при лечении экземы и нейродермита. Вопросы курортологии V, Рига, 1959, 379—384.
 54. Вахтер Х., О применении аэроионов отрицательного знака при лечении больных экземой и нейродермитом. Вестник дерматологии и венерологии 1960, 7.
 55. Таммера К., Результаты применения ионизированного кислорода внутриперитонеально при экспериментальных острых Coli-перитонитах. Вопросы курортологии V, Рига, 1959, 241—247.
 56. Лоога Р., Куль М., Об аэроионизационной терапии экспериментальной гипертонии. Труды по медицине IV Ученые записки ТГУ. Тарту, 1961, 112, 14—15.
 57. Ритслайд В., О влиянии аэроионизации на прорастание семян и рост растений. Известия АН ЭССР, серия биологическая, Тарту, 1960, IX, 2, 167—176.

58. Ритслайд В., Об исследовании влияния аэроионизации на прорастание семян и рост растений. Труды по медицине IV. Ученые записки ТГУ, Тарту, 1961, 112, 142—146.
59. Прюллер П. К., Аэрозольионизатор. Вопросы курортологии V Рига, 1959, 37—43.
60. Прюллер П., Рейнет Я., О концентрации зарядов и полярности аэрозолей и электроаэрозолей водных растворов антибиотиков, применяемых для лечения. Научная конференция медицинского факультета ТГУ 1960 г. Тезисы докладов, Тарту, 1960, 44—45.
61. Прюллер П., Рейнет Я., Физические обоснования различия физиологического действия аэрозолей и электроаэрозолей. Труды по медицине IV Ученые записки ТГУ Тарту, 1961, 112, 7—14.
62. Рейнет Я. Ю., Новые аэрозоль- и аэроионизаторы, успешно применяемые в медицинской практике в Тартуских клиниках. Всесоюзная конференция по аэро- и гидроаэроионизации. Тезисы докладов, Медгиз УзССР, Ташкент, 1960, 140—141.
63. Рейнет Я. Ю., Новый портативный счетчик гидро- и аэроионов, пригодный для определения зарядов электроаэрозолей. Всесоюзная конференция по аэро- и гидроаэроионизации. Тезисы докладов, Медгиз УзССР, Ташкент, 1960, 137—138.
64. Краав В. И., Об аэрозольной теории атмосферного электричества. Труды Главной Геофизической обсерватории имени А. И. Воейкова, 1961, 120, 73—77.
65. Рейнет Я., Аэроионизаторы и их применение в производстве. «Техника тоотмине», 1959, 12, 26—30. (На эстонском языке).
66. Рейнет Я. Ю. и Вальт Л. О., О методах униполярного ионизирования воздуха посредством аэроионизаторов. Вторая Всесоюзная конференция по газовой электронике 2—10 октября 1958 г. Аннотация докладов АН СССР, Москва, 1958, 38.
67. Рейнет Я. Ю., Таммет Х. Ф., Вальт Л. О., О методах униполярного ионизирования воздуха посредством аэроионизаторов. АН СССР, Радиотехника и электроника, 1959, IV, 8, 1335—1338.
68. Куду К. Ф., О начальных стадиях разрядов с острия в воздухе. Тарту, 1960.
69. Материалы республиканского совещания по вопросам перспективного развития приборостроения и средств автоматизации в Эстонской ССР (состоявшегося в г. Тарту 22—24 мая 1958 г.), Таллин, 1958 г., 103—106.
70. Таммет Х. Ф., Сеппер Э. В., К теории электростатического флюксметра. Труды Главной Геофизической обсерватории им. Воейкова, 1960, 97.
71. Таммет Х. Ф., К вопросу создания аэроионизаторов и ионометров для широкого внедрения аэроионотерапии. Всесоюзная конференция по аэро- и гидроаэроионизации. Тезисы докладов. Медгиз УзССР, Ташкент, 1960, 144—145.
72. Рейнет Я. Ю., Некоторые требования относительно условий измерения спектра атмосферных ионов аспирационным методом. Всесоюзное научное метеорологическое совещание. Секция приборов и методов наблюдений. Ленинград, 1961, 55.
73. Таммет Х. Ф., Оптимальные параметры и режим работы аспирационных счетчиков аэроионов. Всесоюзное научное метеорологическое совещание, Секция приборов и методов наблюдений, Ленинград, 1961, 55—56.
74. Сакс О. В., О конструкциях динамических конденсаторов, разработанных в Тартуском гос. университете для счетчиков атмосферных ионов. Всесоюзное научное метеорологическое совещание, Секция приборов и методов наблюдений, Ленинград, 1961, 53.
75. Рейнет Я. Ю., Авторское свидетельство на изобретение «Спектрометр

атмосферных ионов» № 147822. (Опубликовано в «Бюллетене изобретений» № 11 за 1962 г.).

76. Сийрде Э. К., Прюллер П. К., О применении аэрозолей и электроаэрозолей в оториноларингологии. Вестник оториноларингологии, 1963, 2, 3—10.
77. Рейнет Я. Ю., Корнель В. В., Вахеметса М. Л. и Пускар Ю. Х., Ионизационные детекторы к газовому хроматографу. Тезисы докладов 2-й Всесоюзной научно-технической конференции по газовой хроматографии. Москва, 1962, 66.
78. Рейнет Я. Ю., Спектрометр атмосферных гидро- и аэроионов. Приборы для исследования физических свойств газов, жидкостей и контроля теплоэнергетических параметров. Сборник. Выпуск 5. Тема 33 № П-62-32/5 ГОСИНТИ. Москва. 1962, 1—6.

ÕHUIONISATSIOONI- JA ELEKTROAEROSOOLIDEALASTEST UURIMISTÖÖDEST TARTU RIIKLIKUS ÜLIKOO LIS

J. Reinet, P. Prüller ja O. Saks

Resümee

Artiklis antakse ülevaade Tartu Riiklikus Ülikoolis atmosfääriionisatsiooni, õhu- ja hapnikuionisatsiooni ja elektroaerosoolide alal tehtud teaduslikust tööst.

Loetletakse teaduslikud artiklid, kus on avaldatud Tartu Riiklikus Ülikoolis teostatud vastava ala uurimuste tulemused.

Lühidalt peatutakse mitmesugustel atmosfääriioonide loendajatel ja spektromeetritel, mis töötavad kas laengu kasvu või kaomeetodil kõrgtundlike elektromeetritega, ja antakse viiteid nende abil teostatud atmosfääriionisatsiooni uurimistööde tulemustele.

Kirjeldatakse Tartu Riiklikus Ülikoolis väljatöötatud mitmesuguseid uusi aeroionisaatoreid (kõrgsagedus-elektroefluviaalne, koroon-, termo-, hapnikuaeroionisaator jne.) aerosoolionisaatoreid (auruinhalaator-, hapnikuaerosool-, hüdroaeroionisaator jne.) ning aerosool- ja elektroaerosoolpihusteid kunstliku hingamise aparatuuride juurde.

Esitatakse lühidalt aeroionisatsiooni ja elektroaerosoolide kasutamisel meditsiinis ning mujal saadud tulemusi.

Mainitakse üksikuid töid, kus käsitletakse teoreetiliselt ka mõningaid küsimusi ionide loendajate ja ionide hajumise kohta.

ON THE STUDY OF AEROIONIZATION AND ELECTROAEROSOLS AT TARTU STATE UNIVERSITY

J. Reinet, P. Prüller and O. Saks

S u m m a r y

The article gives a survey of the research into the ionization of the atmosphere, air and oxygen, and the study of electroaerosols carried out at Tartu State University.

The scientific papers are enumerated in which the results of these studies have been published.

The authors deal briefly with various counters of the atmospheric ions and with spectrometers which function on the principle of charge or discharge with highly sensitive electrometers, and refer to the results of their investigations achieved by means of these appliances.

The authors likewise describe new aeroionizers (such as the high-frequency electroeffluvial, corona, thermal and oxygen aeroionizers, etc.) aerosol ionizers (such as the steam-, oxygenaerosol- and hydro-aeroionizers, etc.) and aerosol and electroaerosol sprayers for artificial breathing apparatus.

The results are set forth that have been achieved by applying aeroionization and electroaerosols in medicine and elsewhere.

Individual investigations are mentioned in which some of the theoretical problems have been dealt with which have a direct bearing on the ion-counters and the dispersion of ions.

ГЕНЕРИРОВАНИЕ, ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ И ТЕРАПЕВТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЕЙ

П. К. Приллер, Э. И. Раудам, Я. Ю. Рейнет и Э. К. Сийрде

Физиологическое действие электроаэрозолей, научное исследование которого начато лет десять тому назад, далеко еще не выяснено окончательно. Оно тесно связано с проблемой естественной и искусственной ионизации воздуха, изучаемой уже с начала текущего столетия, и описано во многих советских [2, 5] и зарубежных [27, 28, 34, 40, 42] исследовательских работах.

Известно, что в атмосфере имеются как положительные, так и отрицательные ионы, которые можно подразделить по их подвижности в электрическом поле на различные группы, отличающиеся друг от друга не только по заряду, но и по химическому составу и массе [10, 30, 31].

В последние десятилетия начали интенсивно изучать действие на живые организмы электрически заряженных частиц (ионов и электроаэрозолей), различных по заряду и вещественному составу [20, 39]. Результаты, полученные в ходе этих исследований, подтверждают факт воздействия на человеческий организм как электрически заряженного газа (воздуха, кислорода), так и аэрозолей (электроаэрозолей), имеющих в воздухе [38¹ до 46¹ 50¹ до 54¹ 20, 34, 39]¹

1. Аэрозоли и электроаэрозоли в медицине

Аэрозолем называется двухфазная система, состоящая из газовой дисперсионной среды, в которой распределены жидкие, твердые или газообразные частицы аэрозолей [20, 40]. Аэрозоли относят к коллоидным системам.²

Дословно аэрозоль (лат. аег — воздух, solutio — раствор)

¹ Индекс ¹ означает литературу, цитированную в первой статье настоящего сборника.

² Коллоидная система состоит из дисперсионной среды с размерами частиц менее 10^{-7} см, в которой взвешены коллоиды — частицы с размерами от 10^{-7} до 10^{-4} см.

означает «воздушный раствор», причем под «золь» подразумевается не настоящий молекулярный, а разбавленный коллоидный раствор, где частицы независимы и не связаны друг с другом [31].

Земная атмосфера является огромной аэрозольной средой — смесью газов, в которой взвешены частицы, дисперсность которых изменяется в широких пределах: от $5 \cdot 10^{-8}$ до 10^{-1} см. Рассматривая эти частицы, вследствие их незаметной оседаемости «коллоидально растворенными» в воздухе, говорят о них как об аэрозолях. Аэрозольными частицами являются легкие, средние, тяжелые и ультратяжелые ионы (с размерами $5 \cdot 10^{-8}$ до 10^{-5} см), незаряженные частицы с размерами того же порядка, что и ионы воздуха, которые вместе с ионами воздуха являются т. н. ядрами конденсации, и заряженные и незаряженные частицы с размерами от 10^{-5} до 10^{-1} см (пыль, крупные частицы дыма или тумана, дождевые капли и пр.) [3, 10, 11, 30, 40].

В медицине аэрозолями называются распыленные в воздухе растворы медикаментов (с размерами частиц от 0,2 мк до 5 мк, иногда 10 мк) [20]. Аэрозоли получают распылением водных растворов пенициллина, стрептомицина, новокаина, эфедрина, минеральных вод и многочисленных комбинаций фармакологических веществ с помощью сжатого воздуха или кислорода (из баллона) в специальных распылителях.

При дисперсионном распылении воды или водных растворов медикаментов сжатым воздухом, в результате баллоэлектрического эффекта получается почти симметричная биполярная электризация распыленных частиц аэрозолей (суммарные заряды положительных и отрицательных ионов приблизительно равны) [60¹] и еще большое число электрически нейтральных частиц аэрозолей. Частицы аэрозолей диспергированной воды являются заряженными или нейтральными частицами тумана, размеры и заряды которых на несколько порядков превосходят массы и заряды ионов воздуха [61¹]. При симметричной электризации суммарный электрический заряд распыленных частиц равен нулю, при несимметричной электризации наблюдается перевес зарядов того знака, который присущ наиболее мелким капелькам [6].

Электроаэрозоли представляют собой аэродисперсную систему, где частицы аэрозолей заряжены только положительно или отрицательно (униполярная зарядка) или где имеется большой перевес частиц одного знака. Заряды частиц электроаэрозолей могут достигать порядка 10^3 до $10^4 e^3$ [29, 35, 61¹].

Для получения электроаэрозолей:

1) Подается высокое постоянное напряжение на распыляющее медикаменты сопло (аппараты Э. Кюстера [38], К. Кэлера

³ $e = 4,803 \cdot 10^{-10}$ ед. заряда СГСЭ (заряд электрона).

[32], Бартеля-Кюстера [35, 39, 43]) или на специальную систему зарядки, через которую проходят распыленные частицы аэрозолей, т. н. электроаэроостат [39]. На систему распыления для получения униполярной зарядки подается высокое напряжение порядка 40—100 кв. Неудобством этого приема, кроме опасности его для жизни, является необходимость употребления дорогостоящих выпрямителей;

2) для зарядки аэрозолей используется коронный разряд [16, 18, 22, 33]. Этот прием требует, кроме аппаратуры для создания коронного разряда, еще специальных приспособлений, которые предотвращают образование в воздухе сопутствующих коронному разряду вредных газов (озон, соединения азота и т. д.);

3) у сопла в месте распыления создается сильное электрическое поле, под действием которого капельки тумана путем электрической индукции непосредственно в процессе распыления заряжаются зарядом одного знака, а противоположный заряд заземляется. Этот прием применяется в гидроионизаторе Э. Буркхарда [21], где сопло и конструкция распылительной системы слишком сложны для практического применения в аэрозольионизаторах. При распылении используется сжатый воздух под давлением 50 ат.

В лаборатории аэроионизации и электроаэрозолей Тартуского государственного университета разработан действующий на основе индукционной зарядки кислородный аэрозольионизатор, имеющий несложную конструкцию и приспособленный для применения в клинической практике. Теория индукционной электризации при распылении жидкости дана в работе Х. Таммета, помещенной в настоящем сборнике.

2. Кислородный аэрозольионизатор

На кафедре общей физики Тартуского государственного университета в течение долгого времени работали над проблемой получения (по возможности простыми методами) электроаэрозолей для применения их в медицине при ингаляционной терапии. Разработаны паровой ингалятор [25¹] и аэрозольные ионизаторы различных конструкций [26¹, 27¹ 59¹], которые уже используются в течение некоторого времени в медицинской практике [37¹ 50¹ 51¹ 52¹ 60¹ 61¹]. Остановимся здесь лишь на одном из них, носящем название «Кислородный аэрозольионизатор». [37¹]

а) Назначение прибора. Кислородный аэрозольионизатор (рис. 1) предназначен для создания ионизированных (заряженных) аэрозолей медикаментов.

Прибор позволяет получать аэрозоли, ионизированные по желанию — униполярно отрицательно, биполярно или униполярно положительно. При этом степень ионизации регулируется плавно, от слабой биполярной ионизации до сверхвысоких уни-

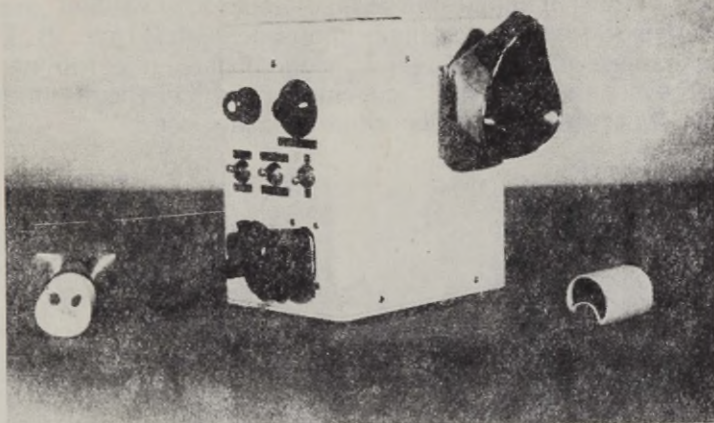


Рис. 1а. Кислородный аэрозольноизонизатор.

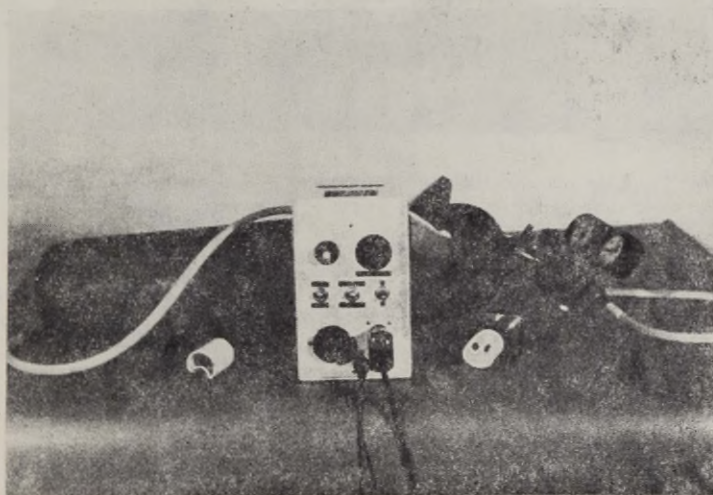


Рис. 1б. Кислородный аэрозольноизонизатор соединен с баллоном кислорода.

полярных ионизаций (концентрация заряда — десятки миллионов элементарных зарядов в куб. см воздуха).

Кислородный аэрозольноизонизатор отличается от других приборов, применяемых для желаемой цели, тем, что он позволяет комбинировать кислородную, аэроионизационную и аэрозольную

терапию. Применение этих видов лечения осуществляется по желанию или отдельно, или в любой комбинации.

Конструкция прибора позволяет просто и удобно отделять аэрозольную камеру для дезинфекции последней (рис. 2). Имеется специальное приспособление, позволяющее быстро производить чистку сопла при его засорении, предусмотрена микрометрическая система регулирования положения сопел.

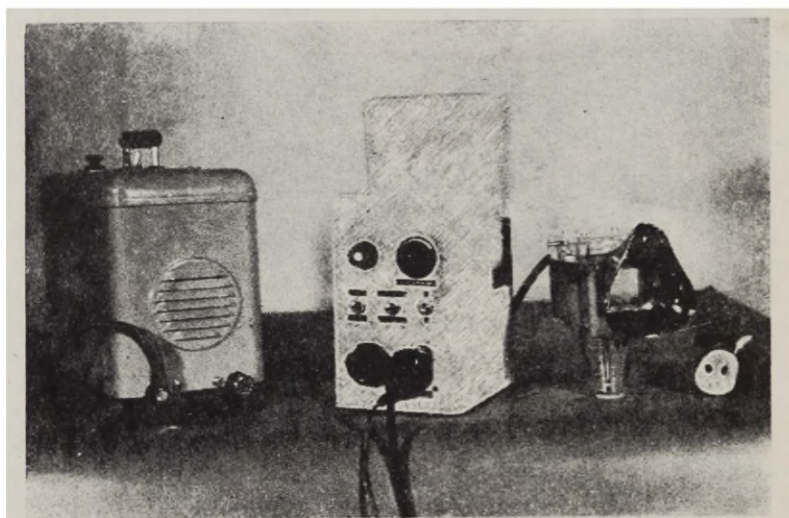


Рис. 2. Аэрозоль-ионизатор соединен с компрессором сжатого воздуха и камера распыления снята для дезинфекции.

б) Принцип работы прибора. Схему действия кислородного аэрозольионизатора поясняет рис. 3. Распылителем медикамента является пульверизатор типа Бергсона-Барковского. Струя кислорода из баллона (рис. 1б) или сжатого воздуха из компрессора (рис. 2) под давлением 2 ат направляется через горизонтально расположенное сопло (2) над вертикальным соплом (1), откуда поступает медикамент.

Над соплом (1) расположен электрод (3). На этот электрод подается потенциал до 900 в относительно заземленных сопел. Созданное таким образом электрическое поле индуцирует заряд на поверхности жидкости, находящейся в сопле.

При распылении медикамента на капельках, отрываемых от поверхности, остаются заряды, одноименные с поверхностным зарядом жидкости. При постоянном потенциале на электроде получается униполярная ионизация, полярности — противоположной потенциалу электрода. При переменном напряжении между электродом и соплами получается сильная биполярная

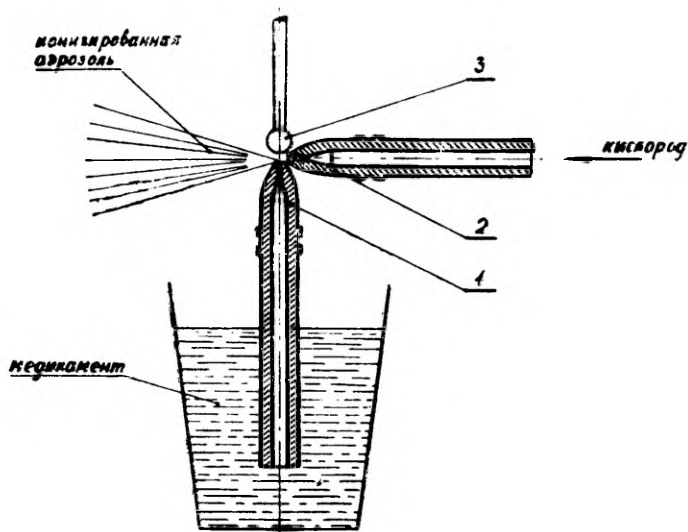


Рис. 3. Схема действия кислородного аэрозоль-ионизатора

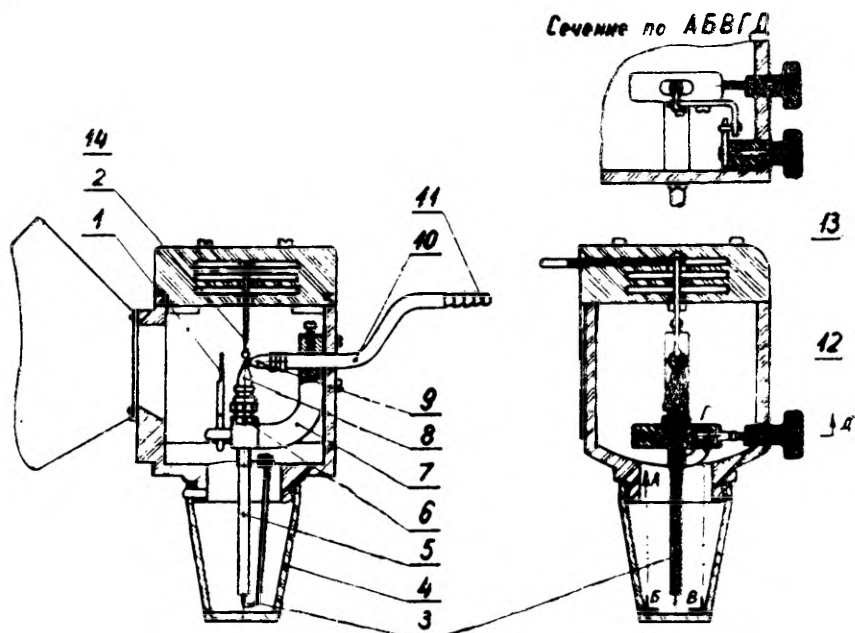


Рис. 4. Разрез камеры распыления.

ионизация. Степень ионизации регулируется изменением потенциала электрода.

в) Конструкция прибора. Устройство кислородного аэрозольионизатора поясняется рисунком 4. Сопла пульвериза-

тора (8) и (9) расположены под углом 90° . Диаметр отверстий сопел 0,35 мм. Сопла связаны между собой угловым кронштейном (7). Нижнее сопло снабжено регулирующим устройством, состоящим из пружины, микрометрического винта (ручка 12), гайки (6) с отверстиями для специального ключа и обоймы, являющейся частью углового кронштейна. Вращением гайки (6) производится перемещение сопла вверх и вниз, поворотом микрометрического винта возможно перемещение сопла влево и вправо относительно оси кислородного сопла (9).

Кислородный канал (10) оканчивается с одной стороны соплом (9), а с другой стороны он имеет сменные переходы (11), позволяющие соединять ионизатор при помощи шланга с источником давления.

Вертикальная трубка (5) оканчивается с одной стороны соплом (8), а с другой конец ее опускается в сосуд с медикаментами (4).

Для осаждения более крупных капелек предназначена преграда (1), которую можно при желании удалить.

Все распыляющее устройство помещается в коробку из органического стекла, имеющую в передней стенке вырез, через который проходит поток ионизированных аэрозолей.

Верхняя крышка коробки съемная. С удалением коробки или крышки от прибора одновременно отсоединяется электрод (2). таким образом осуществляется автоматическая блокировка, гарантирующая безопасность обращения с прибором при его чистке, ремонте и регулировке.

Принципиальная схема выпрямителя для питания электрода изображена на рис. 5.

Выпрямитель собран по схеме утроения напряжения. В схеме используются конденсаторы типа КБГ-М2, емкостью 0,1 мкф и с рабочим напряжением на 600 в, и селеновые столбики типа АВС-6-420. Полярность выходного напряжения коммутируется переключением P_2 . Переключатель P_2 позволяет подавать на выход либо переменное напряжение для биполярной ионизации, либо постоянное напряжение для униполярной ионизации. Сопротивления предназначены для ограничения тока при коротком замыкании. Потенциометр служит для плавной регулировки выходного напряжения.

г) Правила пользования прибором. Кислородный аэрозольионизатор подключается при помощи шланга к источнику давления (кислородный баллон, компрессор АИ-1). Шланг, приключенный к сменным переходам, должен быть крепко обязан проволокой.

Предварительную регулировку при первой подготовке ионизатора к работе рекомендуется выполнить распылением чистой воды. Давление кислорода (2 ат) устанавливается с помощью

редуктора, а с помощью микрометрического винта (ручка 12) и гайки (6) достигается наилучшее распыление.

После достижения оптимального режима распыления прибор готов к эксплуатации.

При практическом применении ионизатора сосуд (4) наполняется нужным медикаментом. Для достижения желаемой ионизации прибор соединяется при помощи шнура с розеткой элект-

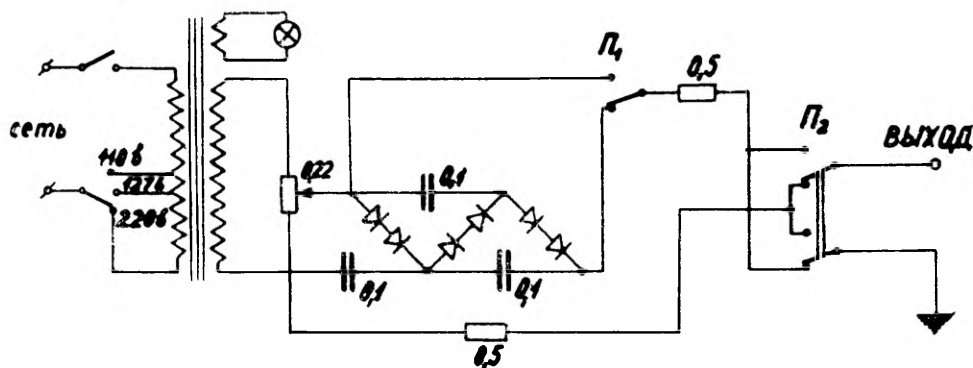


Рис. 5. Принципиальная схема выпрямителя.

рической сети, соответствующим переключателем выбирается род ионизации (биполярной или униполярной), при униполярной ионизации соответствующим переключателем выбирается еще желаемая полярность ионизации. Степень ионизации устанавливается ручкой регулировки напряжения. Расход распыляемой жидкости в данном ионизаторе равен 0,2 миллилитра в минуту. Размеры частиц электроаэрозоля находятся в пределах 1—5 мк.

Распылять кислородом масла и жидкости, содержащие масло, не разрешается. При желании использовать аэрозольионизатор для распыления масел его можно применять, лишь распыляя сжатым воздухом.

Электризация аэрозолей при помощи кислородного аэрозольионизатора изучалась в лаборатории аэроионизации и электроаэрозолей ТГУ.

Концентрации зарядов распыленных с помощью сжатого воздуха водных растворов медикаментов измерялись счетчиком гидро- и аэроионов [63¹]. Для этого аэрозольионизатор помещался без дыхательной маски перед отверстием конденсатора счетчика [60¹]. Измерения проводились при предельной подвижности ионов $k_0 = 0,0025 \text{ см}^2/\text{сек}$ в (легкие, средние и полутяжелые ионы) и при объемной скорости потока воздуха в счетчике $400 \text{ см}^3/\text{сек}$.

Результаты измерений приведены в таблице 1, где n^- и n^+ концентрации отрицательных и положительных зарядов (число

элементарных зарядов в 1 см³ воздуха), а $\frac{n^+}{n^-}$ коэффициент уни-
полярности. Концентрация аэрозолей измерялась без напряже-
ния на электродах.

Т а б л и ц а 1

Водный раствор медикаментов	Аэрозоль			Электроаэрозоль		
	n^- см ⁻³	n^+ см ⁻³	$\frac{n^+}{n^-}$	n^- см ⁻³	n^+ см ⁻³	$\frac{n^+}{n^-}$
Дистиллированная вода	6,1 · 10 ⁶	5,9 · 10 ⁶	0,97	33,7 · 10 ⁶	2,9 · 10 ⁶	0,09
Вода из водопроводного крана.	7,0 · 10 ⁶	7,2 · 10 ⁶	1,03	45,4 · 10 ⁶	5,7 · 10 ⁶	0,13
Пенициллин						
100.000 ед в 10 см ³ *	14,1 · 10 ⁶	11,7 · 10 ⁶	0,83	43,7 · 10 ⁶	7,0 · 10 ⁶	0,16
200.000 —,—	15,9 · 10 ⁶	11,8 · 10 ⁶	0,74	58,7 · 10 ⁶	9,1 · 10 ⁶	0,16
300.000 —,—	18,1 · 10 ⁶	11,4 · 10 ⁶	0,63	58,8 · 10 ⁶	9,9 · 10 ⁶	0,17
Стрептомицин						
100.000 ед в 10 см ³	4,9 · 10 ⁶	4,7 · 10 ⁶	0,96	52,4 · 10 ⁶	5,7 · 10 ⁶	0,11
200.000 —,—	3,6 · 10 ⁶	4,0 · 10 ⁶	1,11	47,9 · 10 ⁶	6,1 · 10 ⁶	0,13
300.000 —,—	3,6 · 10 ⁶	3,7 · 10 ⁶	1,03	51,9 · 10 ⁶	6,4 · 10 ⁶	0,12
Новокаин 0,25%	4,2 · 10 ⁶	3,0 · 10 ⁶	0,72	30,6 · 10 ⁶	7,3 · 10 ⁶	0,24
0,5%	7,5 · 10 ⁶	5,3 · 10 ⁶	0,71	47,0 · 10 ⁶	6,3 · 10 ⁶	0,13
1%	5,3 · 10 ⁶	3,0 · 10 ⁶	0,57	47,7 · 10 ⁶	6,3 · 10 ⁶	0,13
Сода — 1% водный раствор	4,4 · 10 ⁶	3,9 · 10 ⁶	0,89	35,1 · 10 ⁶	7,7 · 10 ⁶	0,22

Данные таблицы показывают, что при баллоэлектрическом эффекте аэрозоли водных растворов пенициллина и новокаина ионизируются преимущественно отрицательно, а в случае аэрозолей стрептомицина концентрации положительных и отрицательных зарядов почти равны.

Концентрации зарядов электроаэрозолей в десятки раз превосходят ионизацию мощных аэроионизаторов.

При аэрозолях водных растворов пенициллина увеличение концентрации раствора сопровождается возрастанием концентрации зарядов, особенно отрицательных, что не наблюдается в случаях со стрептомицином и новокаином.

В случае электроаэрозолей также заметна большая заряжаемость пенициллина по сравнению с другими использованными медикаментами и рост концентрации зарядов при увеличении концентрации раствора.

При электроаэрозолях медикаментов концентрации отрицательных зарядов превосходят концентрации положительных в 4—10 раз.

Измерения, произведенные счетчиком гидро- и аэроионов, не дают представления о величине капелек тумана и об их заряде.

* В дистиллированной воде.

Для определения величины капель и зарядов тумана, созданных кислородным аэрозольоизатором, применялся фотографический осцилляционный метод [9, 12, 45]. Капли исследуемого тумана падают сверху в кюветку, где находятся два плоскопараллельных электрода на расстоянии 5 мм друг от друга. В пространство между электродами направляется прерывистый световой поток от ртутной лампы. Отраженный от капель свет падает в течение 10 сек через объектив на кадр фильма, находящийся в фотокамере, который автоматически сменяется через каждые 20 сек. Посредством электронной схемы на электроды подается переменное напряжение с различными положительными и отрицательными амплитудами, под воздействием которого заряженные капли образуют зигзагообразные траектории, различные по виду у капель, обладающих зарядами различных знаков, незаряженная же капля дает прямую траекторию. Из вертикального компонента траектории капли на фильме вычисляется радиус частицы, а из горизонтального компонента вычисляется заряд частицы.

Исследования в лаборатории аэроионизации и электроаэрозолей ТГУ (измерения проводила В. Краав в 1961 г.) показали [61¹], что в случае аэрозолей дистиллированной воды из 271 капль оказывались без заряда 70,9%; отрицательный заряд несли 17,6% с средним зарядом, приходящимся на одну каплю, $5,5 \cdot 10^3$ е; положительный заряд носили 11,5% с средним зарядом на одну каплю $6 \cdot 10^3$ е. Нетто-заряд (т. е. разность сумм зарядов капль различных знаков) на одну каплю оказался отрицательным — 280 е.

В случае отрицательно заряженных электроаэрозолей из 153 капль носили отрицательный заряд 72,0% с средним зарядом $19,1 \cdot 10^3$ е, положительный заряд носили 28,0% с средним зарядом $8,9 \cdot 10^3$ е, незаряженных капль не было. Неттозаряд оказался для одной капли равным — 11 200 е.

В случае положительно заряженных электроаэрозолей из 148 капль носили положительный заряд 71,0% с средним зарядом $20,8 \cdot 10^3$ е, отрицательный заряд носили 29,0% с средним зарядом $9,8 \cdot 10^3$ е, незаряженных капль не было. Неттозаряд, приходящийся на одну каплю, оказался равным +12 000 е. Все данные положительно заряженных электроаэрозолей почти симметричны с данными отрицательно заряженных электроаэрозолей. Фотоснимки наглядно показывают большую разницу между зарядами аэрозолей (почти прямолинейная траектория (рис. 6)) и электроаэрозолей (зигзагообразная траектория (рис. 7)) Радиусы большинства измеряемых капль оказались порядка 10^{-4} см (микрон).

Предыдущие данные позволяют предполагать, что физиологическое и терапевтическое действие отрицательных электроаэрозолей, по-видимому, в основном обусловлено большими

электрическими зарядами капель электроаэрозолей (в 3—4 раза больше, чем у аэрозолей) и в особенности сильным перевесом отрицательного неттозаряда, который в случае электроаэрозолей ($-11\,200\text{ е}$) оказался в 40 раз большим, чем в случае аэрозолей (-280 е).

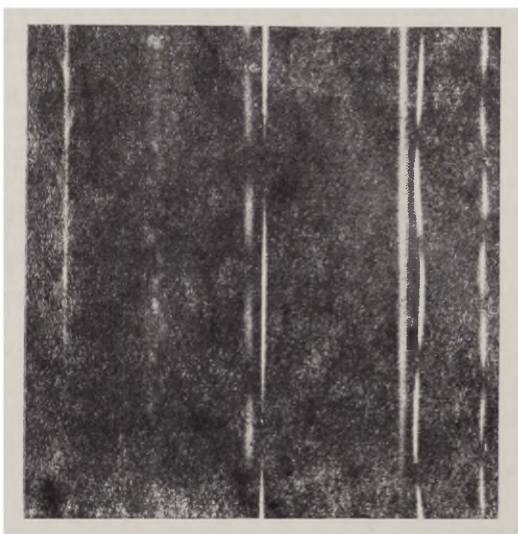


Рис. 6. Фотоснимок траекторий частиц аэрозоля в переменном электрическом поле (на электрод не подано напряжения).

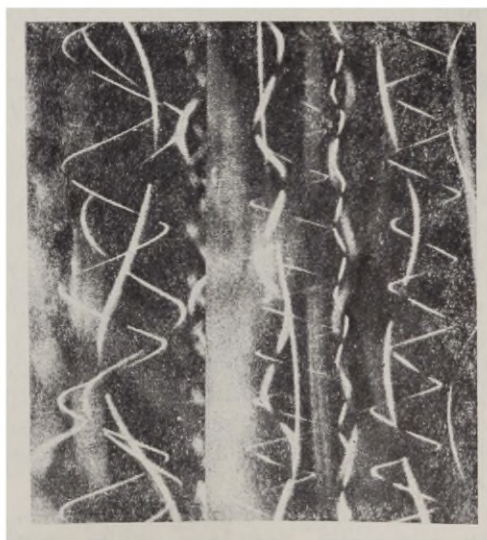


Рис. 7. Фотоснимок траекторий частиц электроаэрозоля в переменном электрическом поле (на электрод подано напряжение).

3. Физиологическое действие и терапевтическое применение аэрозолей и электроаэрозолей

Атмосферные аэрозоли определяют жизненную среду человека, изменяя состав воздуха, вдыхаемого человеком. От характера аэрозолей зависят все оттенки климата, наблюдаемые нами в горах, на берегу моря или у водопада, на полях и в лесах, на климатологических станциях или курортах и, наконец, в солнечный день или же после дождя или грозы.

Только тот реальный факт, что все, чем человек дышит каждый день и в продолжении всей жизни, связано с аэрозолями, определяет их физиологическое значение. Ведь взрослый человек вдыхает в течение суток, примерно, 10 м^3 воздуха, вес которого во много раз превосходит вес твердых и жидких продуктов пищи, употребляемых человеком в сутки [39].

Аэрозольтерапия уже давно широко применяется в медицине [3, 15, 20, 39, 41]. При лечении аэрозолями надо учитывать локальное и общее действие: последнее зависит от проникновения частиц аэрозолей в кровь через органы дыхания.

По В. Ф. Ундрицу и Е. Б. Цывьяну проникновение аэрозолей в кровь через органы дыхания тем больше, чем глубже проникает резорбируемое вещество [13], а последнее зависит от размеров частиц. Частицы с размерами $0,5\text{--}5 \text{ мк}$ достигают альвеол, где условия проникновения их в кровь являются наилучшими.

Площадь поверхности вещества при диспергировании сильно увеличивается. Например, 1 см^3 жидкости при шаровой форме с площадью поверхности $4,84 \text{ см}^2$ после распыления в капельки с диаметром 1 мк дает $2 \cdot 10^{12}$ капелек с общей площадью поверхности $6,3 \text{ м}^2$, т. е. увеличение площади в 13 000 раз.

Так как химические реакции происходят на поверхности соприкосновения тел, то увеличение общей поверхности капелек при уменьшении их размеров способствует физиологической активности распыленных медикаментов [20].

Аэрозольтерапия оправдывается еще тем, что вещества, введенные в организм аэрозолями, выделяются из организма медленнее, чем вещества, введенные иным путем. Это объясняется задержкой вещества в малом лимфо- и кровообращении [13]. По данным С. И. Ашбея и др., спустя 1 час после ингаляции 100 000 единиц пенициллина, в 1 см^3 крови находилось 0,12 единиц пенициллина; эта концентрация, превышающая лечебную концентрацию, удерживалась еще 9—10 часов после окончания ингаляции [1].

Изучение микрофлоры дыхательных путей показывает, что повторное ингалирование антибиотиков уничтожает микробы в дыхательных путях [3].

За последние десять лет в клинической практике обращают

большое внимание на электроаэрозоли, применение которых для терапевтических целей расширяется с каждым годом [7 20, 39, 31¹, 36¹, 37¹ 50¹ 51¹ 52¹ 59¹].

Электроаэрозоли имеют ряд преимуществ по сравнению с аэрозолями. Униполярный электрический заряд электроаэрозолей препятствует коагуляции частиц аэрозолей, которая происходит из-за сил притяжения между разноименно заряженными частицами аэрозолей и броуновского движения. Электрический заряд частицы аэрозоля противодействует поверхностному натяжению и при достаточно больших зарядах частиц может привести к разрушению капли, увеличивая этим дисперсность аэрозолей [20]. Униполярно заряженный аэрозоль равномерно рассеивается под действием своего объемного заряда, чем увеличивается осаждение частиц в дыхательных путях [11].

Новейшие исследования влияния электроаэрозолей на организм человека показывают, что физиологическое действие электроаэрозолей эффективнее действия аэрозолей или ионов воздуха. Использование электроаэрозолей дает возможность связать аэрозольтерапию с аэроионотерапией.

По данным И. Лифшица и др. [4] процент осаждающихся в дыхательных путях заряженных частиц значительно больше, чем незаряженных. Причиной этого являются индукционные силы, притягивающие заряженные частицы к стенкам дыхательных путей, и электростатическое рассеивание [11].

По мнению Х. Кауэра, уменьшение броуновского движения у электроаэрозолей способствует их проникновению глубоко в дыхательный тракт, вплоть до альвеол. Опыт Неймана над обезьянами показал, что смесь коллоидального белка молока с частичками серебра и минеральной воды после распыления и ингаляции проникает в альвеолы обезьяны [24].

Опыты А. Энгельса, Е. Лизе и К. Шульца показывают, что после вдыхания человеком распыленного радиоактивного изотопа фосфора P^{32} или иода I^{131} радиоактивность на отдельных частях человеческого тела оказывается выше, если аэрозоль заряжен отрицательно, по сравнению со случаем, когда аэрозоль заряжен положительно или нейтрален [14, 25]. Эти опыты доказывают, что отрицательно заряженные аэрозоли способствуют переносу вещества в организме.

Большинство исследователей приписывает зарядам отрицательного знака благоприятное биологическое и терапевтическое действие. Но по литературным данным в малочисленных случаях благоприятный терапевтический эффект дает также положительно заряженный электроаэрозоль [24]. Ряд исследователей считает нужным для окончательного решения вопроса учитывать также тип и вегетативное состояние пациента [20, 23].

Физиологическое влияние электроаэрозолей на организм через нервную систему показал К. Биза в 1953 году на достаточно

обширном подопытном материале путем воздействия мигающим источником света на чувствительность человеческого глаза [17]. По этим опытам чувствительность глаза резко повышается при ингаляции униполярно отрицательно заряженных электроаэрозолей растворов солей и особенно при повышении концентрации заряда электроаэрозолей. При ингаляции аэрозолей или отрицательных аэроионов, наоборот, чувствительность глаза в общем понижается. Эти влияния исследователь приписывает аккумулярующему действию суммирующих электрических зарядов на организм человека. Исследователь предполагает, что отрицательно заряженные аэрозоли увеличивают, а положительно заряженные уменьшают амплитуды биологических реакций [18, 20].

Гуморальный механизм передачи электрических зарядов из легких в кровь подтверждается опытами А. М. Скоробогатовой [8] при ингаляции аэроионов путем перекрестного кровообращения животных и опытами К. Биза [19] при ингаляции аэроионов и электроаэрозолей путем передачи зарядов из легких через кровь на поверхность кожи человека, электрически изолированного от земли. Электрод, прикрепленный к руке, заземляется через высокоомное сопротивление и пикоамперметр, по показаниям которого можно судить о величине и полярности зарядов кожи. Оказалось, что полярность вдыхаемых зарядов совпадает с полярностью кожи, и повышение концентрации зарядов отрицательных электроаэрозолей сопровождается соответствующим повышением отрицательного заряда кожи. Аналогичные опыты Т. Винзора и Я. Беккета в США [46] показывают, что при вдыхании высоко ионизированного воздуха человеческое тело оказывается коллектором атмосферных ионов. Изолированное от земли человеческое тело в соответствии с полярностью ионов приобретает отрицательный или положительный потенциал относительно земли.

В. А. Гордиев [29] указывает, что по литературным данным большинство новейших исследователей уделяют особое внимание терапевтическому применению электроаэрозолей. Применение электроаэрозолей оказывается стандартной терапией в европейских, особенно германских больницах и санаториях при заболеваниях дыхательных путей и легких. Лечат различные неврозы, аллергии, риниты, астму и туберкулез. Лечение распространялось с переменным успехом на ревматизм и как превентивное лечение при силикозе у горняков.

По данным Э. Эбенера и К. Арнольда [26] применение электроаэрозольтерапии при лечении дыхательных путей — бронхит, бронхиальная астма, коклюш, воспаление придаточных пазух носа — у 600 больных дало, за небольшим исключением, хорошие результаты. По Э. Кёлеру [35] применение электроаэрозолей у 208 больных туберкулезом дало выздоровление в 47,1% случаях и

временное выздоровление в 30,8% случаях, причем среди временно выздоровевших у 58 больных были каверны, застание которых подтвердилось рентгено-томографическими исследованиями. Об успешном применении электроаэрозолей при силикозе сообщает Х. Кауэр [22].

Физиологическое действие аэрозолей и электроаэрозолей исследовал экспериментально Э. К. Сийрде на основе клинических и лабораторных показателей на кафедре оториноларингологии и на клинической базе последней — в оториноларингологическом отделении Тартуской республиканской клинической больницы, начиная с 1956 года.

Экспериментально исследовалось действие аэроионов и электроаэрозолей (гидроионов) на изолированные органы лягушки: пищевод и препараты сердца (по Штраубу и Энгельману). Наблюдения показали [39¹, 40¹, 41¹], что отрицательно заряженные электроаэрозоли увеличивают активность мерцательного эпителия изолированного пищевода, а также обуславливают увеличение и учащение амплитуды сокращений изолированного сердца лягушки. Положительные заряды оказывали противоположное действие. Аэроионы (легкие ионы) не оказывали воздействия на мерцательный эпителий и сокращения сердца при подобных опытах. Из этого следует, что электроаэрозоли (гидроионы) оказывают локальное воздействие. Такое локальное воздействие описывают также А. Крюгер и Р. Смит [36, 37].

Изменения активности мерцательного эпителия наблюдались и под действием некоторых медикаментов, при введении их для сравнения то с аэрозолями, то с электроаэрозолями. Использовались следующие медикаменты: раствор новокаина (0,25—1%), раствор пенициллина (100 000 и 200 000 единиц на 10 см³ дистиллированной воды), раствор уретана (0,5%), а также в отдельности вода из водопроводного крана и дистиллированная вода.

Наблюдения показали, что растворы упомянутых медикаментов в качестве аэрозолей в большинстве случаев замедляют движение ресничек мерцательного эпителия; когда аэрозолям тех же веществ придавался отрицательный заряд, то активность мерцательного эпителия увеличивалась, несмотря на то, что в растворе содержались вещества, которые ранее замедляли движение ресничек мерцательного эпителия. Эти наблюдения дают основания для заключения, что электроаэрозоли следует предпочесть аэрозолям также в ежедневной лечебной практике, так как введение медикаментов в виде аэрозолей замедляет активность мерцательного эпителия, что находится в несоответствии с физиологическим предохраняющим назначением слизистых оболочек.

Наши наблюдения относительно воздействия аэроионов и электроаэрозолей на кровяное давление [40¹] подтвердили наблю-

дения, известные из литературы, а именно, что отрицательные аэроионы и электроаэрозоли снижают повышенное кровяное давление. Иногда получалось впечатление, что гидроионы способствовали больше снижению максимального давления, аэроионы же — минимального.

Наблюдения относительно воздействия отрицательной ионизации на изменения оксигемоглобина в крови [37¹] показали, что использование различных ионизаторов обуславливает и различные изменения оксигемоглобина в крови, количество которого особенно увеличивается при пользовании гидроионизаторами, т. е. электроаэрозолями. Более всего оксигемоглобина содержалось в крови после ингаляции электроаэрозолей совместно с кислородом.

Плетизмографические регистрации [42¹] со слизистой оболочки носа показали, что при расширении кровеносных сосудов (воспаление, аллергия) они сужаются под влиянием отрицательной ионизации; при сужении же (атрофический ринит, озо-на) — расширяются. Действие аэро- и гидроионов при этом одинаково, что, вероятно, обусловлено центральным регулирующим механизмом.

Риноанэмометрические исследования [42¹] о прохождении воздуха через нос были аналогичными плетизмографическим регистрациям. Исследования изменений температуры [42¹] слизистых оболочек верхних дыхательных путей и кожи показали, что при нормальном состоянии слизистой оболочки носа температура слизистых оболочек носа и глотки повышается под влиянием отрицательной ионизации, а температура кожи (на груди и голени) снижается; во время патологических состояний (насморк, аллергия, озо-на) изменения температуры слизистых оболочек и кожи происходят в одинаковом направлении, либо повышаясь, либо снижаясь. В действии аэроионов и гидроионов различий не было.

Исследования pH выделений из носа [44¹] показали, что в случае здорового носа реакция выделений из носа близка к нейтральной (pH 7,10—7,20), при патологических состояниях (насморк, аллергия, озо-на) — щелочная (pH до 8,00). Отрицательной ионизацией возможно изменить реакцию выделения из носа, причем направление изменений pH зависит от использованных аэрозолей: дистиллированная вода уменьшает щелочную реакцию.

Экспериментальные и клинические наблюдения при bipolarной ионизации [46¹] показали, что физиологическое действие относительно слабо по сравнению с униполярной ионизацией.

В оториноларингологической клинике электроаэрозоли стали применять в ежедневной лечебной практике начиная с 1957 года; преимущественно применяются аэрозоли из дистиллирован-

ной воды, в меньшей мере вместе с медикаментами, главным образом антибиотиками.

С 1958 по 1961 год электроаэрозольному лечению подверглось 524 пациента. Из этого числа у 205 лиц (39%) была озена, у 94 (18%) — бронхиальная астма и у 75 (14%) — расстройства носа вазомоторного характера (главным образом, аллергическая ринопатия). У остальных были различные заболевания, как-то атрофический ринит, острые и хронические воспалительные процессы дыхательных путей и прочие расстройства.

По нашим клиническим наблюдениям при озене, астме и аллергической ринопатии в $\frac{3}{4}$ всех случаев получены в большей или меньшей мере положительные результаты лечения.

Клинический опыт и субъективная оценка пациентов говорят в пользу электроаэрозолей, предпочитая их аэроионотерапии.

Большое значение в медицине имеет использование аэрозолей и электроаэрозолей у лежащих тяжелых больных, особенно в тех случаях, когда дыхательная мускулатура больного парализована, как, например, у трахеотомированных больных полиомиелитом, при лечении которых проводится искусственное дыхание, так как у них возникают часто тяжелые осложнения: ателектаз и воспаление легких.

Имея в виду вышесказанное, на кафедре общей физики Тартуского государственного университета были сконструированы оригинальные распылители аэрозолей и электроаэрозолей в дополнение к аппарату искусственного дыхания ДП-1 и ДП-2.

Упомянутая здесь электроаэрозольная установка стала систематически применяться, начиная с 1958 года, Э. И. Раудамом и др. [50¹ до 52¹] в неврологическом отделении Тартуской республиканской клинической больницы у трахеотомированных больных полиомиелитом, у которых применяется аппарат искусственного дыхания, а также у больных с острыми повреждениями мозга. Применяется она также у трахеотомированных, но самостоятельно дышащих больных полиомиелитом, у больных с повреждением мозга, воспалением мозга, мозговым кровоизлиянием и у больных с барбитуральными отравлениями и т. д. В последнем случае аэрозоли вводятся посредством трахеальных канюль. Не трахеотомированные больные вдыхают аэро- и электроаэрозоли через носовой зонд.

Присоединение распылителя к системе ДП-1 или ДП-2 не снижает насыщенности крови кислородом, венозное давление при этом не повышается, отмечается относительное удлинение выдоха по сравнению с вдохом. Это показывает, что во время присоединения установки к респиратору и при вдыхании электроаэрозолей или аэрозолей не возникает отягощения сердечной деятельности, а также не нарушается нормальный ход кислородного обмена веществ.

До сих пор подвергались лечебным процедурам по упомянутому методу в системе комплексного лечения более 600 больных, которым угрожал смертельный исход. После применения электроаэрозолей число смертельных и тяжелых легочных осложнений резко снизилось, а ателектозы и воспаление легких протекают в легкой форме.

На всемирной конференции по аэроионизации в городе Филадельфии 16 и 17 октября 1961 года А. П. Венер в своем докладе: «Клиническое, научное и техническое развитие электроаэрозолей» обращает внимание на эффективное физиологическое действие электроаэрозолей относительно сопротивляемости человеческого организма заболеваниям. Начиная с 1958 года, электроаэрозоли широко применяются в десяти странах (Германия, Швеция, Франция, Венгрия, Финляндия, Польша и др.) при лечении примерно 25 заболеваний, в первую очередь бронхиальной астмы, катарров респираторного тракта, туберкулеза, силикоза, синуситов, ринитов, нервных заболеваний и т. д. Комбинация электроаэрозолей с медикаментами, применяемыми в диспергированном состоянии, представляет собой в клинической практике успешно освоенный терапевтический прием, который также повышает шансы на предотвращение заболеваний [44].

Заключение

1. Наши физические исследования относительно величины зарядов электроаэрозолей и их полярности показывают, что сконструированный на кафедре общей физики Тартуского государственного университета аэрозольионизатор дает при зарядке аэрозолей путем индуктирования в электрическом поле униполярно заряженные электроаэрозоли с нужной для практического применения концентрацией и достаточной униполярностью. Аэрозольионизаторы приспособлены для употребления в клинической практике.

2. Вышеприведенные литературные данные и наши наблюдения в ходе исследования физиологического действия электроаэрозолей и их использования при лечении указывают на гораздо большую эффективность электроаэрозолей по сравнению с обычной аэрозольтерапией.

3. Требуется усовершенствование аппаратуры для генерирования электроаэрозолей и основательное исследование механизма их физиологического действия. Общим заданием физиков, биофизиков, медиков и физиологов должно быть выяснение возможностей широкого применения электроаэрозолей как при лечении, так и для профилактических целей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ашбель С. И., Краковский А. В., Соколова В. Г., Терапевтический архив 1953, XXV, 1, 74—80.
2. Васильев Л. Л., Теория и практика лечения ионизированным воздухом, Ленинград, 1953.
3. Ёлкин И. И., Эйдельштейн С. И., Аэрозоли антибиотиков, их получение и клиническое применение, Москва, 1955.
4. Лифшиц И., Лыхина Е., Эренбург Г., Гигиена и санитария, 1948, 10, 17.
5. Минх А. А., Ионизация воздуха и ее гигиеническое значение, Москва, 1958.
6. Натасон Г. Л., Электризация при распылении жидкостей. Докторская диссертация, Физ.-хим. институт им. Л. Я. Карпова, Москва, 1955.
7. Портнов Ф. Г., Аэроны и их лечебное применение, Рига, 1961.
8. Скоробогатова А. М., Вопросы курортологии V, Рига, 161—170.
9. Соловьев В. А., Труды Главной Геофизической обсерватории 1956, 58 (126), 31—41.
10. Тверской П. Н., Атмосферное электричество, Ленинград, 1949.
11. Фукс Н. А., Механика аэрозолей, Москва, 1955.
12. Фукс Н., Петрянов И., Журнал физической химии, 1933, 4, 567—572.
13. Ундриц В. Ф., Цывьян Е. Б., Военно-медицинский журнал, 1933, 4, 5, 302—308.
14. Цитировано по Arnim, Zschr. für Aerosol-Forschung und -Therapie 1956, 4, 354; оригинал A. Engels, K. Schulz, Strahlentherapie 1956, 99, 4, 624.
15. Biancani, E. H., Delaville, G. M. Les Aérosols, Paris 1948.
16. Bisa, K., Zschr. für Aerosol-Forschung und -Therapie 1953, 2, 286.
17. Bisa, K., Zschr. für Aerosol-Forschung und -Therapie 1954, 1, 39—50.
18. Bisa, K., Weidemann, J., Zschr. für Aerosol-Forschung und -Therapie, 1955, 3, 220—251.
19. Bisa, K., Die respiratorische Bilanz der elektrischen Raumladungsdichte und Ladung der Körperoberfläche bei der Inhalation, Zschr. für Aerosol-Forschung und -Therapie, 1957, 2, 129—139.
20. Böhlau, V., Böhlau, E., Die Inhalationsbehandlung mit Aerosolen, Leipzig 1958.
21. Burkhardt, E., Annalen der Physik 1935, 23, 339—370.
22. Cauer, H., Zschr. für Aerosol-Forschung und -Therapie, 1955, 2, 147—157.
23. Cauer, H., Zschr. für Aerosol-Forschung und -Therapie, 1955, 4, 344—347.
24. Cauer, H., Zschr. für Aerosol-Forschung und -Therapie, 1958, 3, 224—232.
25. Цитировано по Cauer, Zschr. für Aerosol-Forschung und Therapie 1958, 3, 224—232; оригинал A. Engels, E. Liese, Archiv Physik.-Therapie 1954, 6, 4.
26. Ebener, E., Arnolds, K. Zschr. für Aerosol-Forschung und Therapie 1952, 1, 19.
27. Edström, G., Studies in natural and artificial atmospheric electric ions, Lund 1935.
28. Frey, A., Biomedical electronics, 1961, 8, 1, 12—16.
29. Gordiyeff, V. A., Arch. Industr. Health 1956, 14, 5, 471—481.
30. Israël, H., Atmosphärische Elektrizität, Teil I, Leipzig, 1957, Teil II, Leipzig 1961.
31. Israël, H., Luftelektrizität und Radioaktivität, Berlin 1956.
32. Kähler, K., Beiträge zur Klinik der Tuberkulose 1937, 89, 3, 311—314.
33. Klumb, H., Schütz, A. Zschr. für Aerosol-Forschung und -Therapie, 1957, 1, 40—53.
34. Kornbluh, J. H., Bulletin of the American Meteorological Society, 1960, 41, 7, 361—367.
35. Köhler, E., Beiträge zur Klinik der Tuberkulose, 1956, 116, 20—27.

36. Krueger, A. P., Smith, R. F. Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine, 1957, **96**, 807—809.
37. Krueger, A. P., Hicks, W. W., Beckett, J. C., Journal of the Franklin-Institute, 1958, **266**, 1, 9—19.
38. Küster, E., Dittmar, C., Zschr. für Krebsforschung, 1940, **50**, 6, 457—464.
39. Nüchel, H., Aerosol-Therapie, Stuttgart, 1957.
40. Reiter, R., Meteorobiologie und Elektrizität der Atmosphäre, Leipzig 1960.
41. Rooth, G., Inhalation of liquid aerosols, Acta Medica Scandinavica, Supplementum 228, Lund 1949.
42. Schmid, A., Biologische Wirkungen der Luft-Elektrizität mit Berücksichtigung der künstlichen Ionisierung. Bern-Leipzig 1936.
43. Wasielewski, E., Gillissen, G., Himstedt, R., Genth, W. Zschr. für Aerosol-Forschung und -Therapie, 1955, **1**, 18—28.
44. Wehner, A. P., The clinical, scientific and technical development of electro-aerosology. Proceedings of International conference on ionization of the air. Vol. 1, XV. Franklin Institute, Philadelphia, Penna, October 16—17, 1961.
45. Wells, Gehrke, Journ. Am. Chem. Soc., 1919, **41**, 312.
46. Winsor, T., Beckett, J., American Journal of Physical Medicine, 1958, **37**, 2, 83—89.

ELEKTROAEROSOOLIDE GENEREERIMINE, NENDE FÜSIOLOOGILINE TOIME JA TERAPEUTILINE RAKENDAMINE

P. Prüller, E. Raudam, J. Reinet ja E. Siirde

Resümee

Artiklis antakse ülevaade aeroioonide, aerosoolide ja elektro-aerosoolide erinevusest ja toimest.

Mainitakse mitmesuguseid elektroaerosoolaparaate ja antakse lühike kirjeldus Tartu Riiklikus Ülikoolis konstrueeritud aerosool-ionisaatorist, millega pihustatakse medikamentide lahuseid kas hapniku või suruõhu abil, kusjuures unipolaarne laeng pihule tekitatakse elektrostaatilise induksiooni teel, kasutades selleks madalapingelist (umbes 500 volti) alaldajat või kuivelementi.

Kirjeldatakse meetodeid aerosoolide ja elektroaerosoolide laengutiheduse ja üksiku piisa raadiuse ning laengu suuruse määramiseks.

Esitatakse andmeid aerosoolide ja elektroaerosoolide laengutiheduse ja unipolaarsuse kordajate kohta.

Võrreldakse aerosoolide ja elektroaerosoolide füsioloogilist toimet ning esitatakse tulemusi, mis on saadud Tartu Riikliku Ülikooli Arstiteaduskonna õppejõudude (E. Siirde, E. Raudami jt.) poolt, kasutades kliinilises praktikas aerosooli ja elektroaerosooli.

Saadud tulemustest selgub, et negatiivsete elektroaerosoolide toime, võrreldes tavaliste aerosoolide toimega, on tunduvalt efektiivsem, eriti veel siis, kui elektroaerosooli tekitatakse õhu- ja hapnikuaatmosfääris.

Aerosoolide ja elektroaerosoolide viimine kopsudesse kunstliku hingamise aparaatide abil võimaldab vältida ja samuti ka ravida raskeid kopsukomplikatsioone nendel haigetel, kes hingavad kunstliku hingamise aparaatide varal.

THE GENERATION OF ELECTROAEROSOLS, THEIR PHYSIOLOGICAL EFFECT AND THERAPEUTICAL APPLICATION

P. Prüller, E. Raudam, J. Reinet and E. Siirde

S u m m a r y

The differences of aeroions, aerosols and electroaerosols and their effects are outlined.

Various appliances of electroaerosols are mentioned and the aerosol-ionizer constructed at Tartu State University is briefly described. With their help it is possible to spray solutions of drugs through oxygen or compressed air, the unipolar charge to the spray being brought about by electrostatic induction for which a low-voltage (ca 500 volts) rectifier or a dry battery is used.

Methods are described for the determination of the charge density of aerosols and electroaerosols, the radius of individual drops and the amount of the charge.

Data are set forth on the charge density of aerosols and electroaerosols and on the coefficients of unipolarity.

The physiological effects of aerosols and electroaerosols are compared and the results are presented that have been achieved by members of the staff of Tartu State University (E. Siirde, E. Raudam and others) who have applied aerosols and electroaerosols in clinical practice.

It may be seen from the results obtained that the effect of negative electroaerosols is considerably greater than the effect of ordinary aerosols, particularly when electroaerosols are generated in the atmosphere of air and oxygen.

The introduction of aerosols and electroaerosols into the lungs by means of artificial respiration apparatus makes it possible to prevent as well as to treat severe complications in the lungs of the patients who breathe with the help of artificial breathing apparatus.

ПЕРЕНОСНЫЙ СЧЕТЧИК АТМОСФЕРНЫХ ИОНОВ

Я. Ю. Рейнет и Я. И. Сальм

Исследование атмосферной ионизации в настоящее время представляет интерес для геофизиков не только в соответствующих обсерваториях, но также и в различных природных условиях.

Отметим, что на основании спектра атмосферных ионов можно охарактеризовать чистоту воздуха [1]. С другой стороны, установлено, что атмосферные ионы и аэрозоли оказывают влияние на организм человека [2, 3]. Характер указанного влияния зависит от полярности и концентрации заряженных частиц. В связи с этим начаты исследования действия искусственной аэроионизации и электроаэрозолей на человека и животных [4, 5]. Отсюда следует важность применения счетчиков атмосферных ионов также в медицине и биологии.

Ниже перечисляются требования, удовлетворение которых являлось целью авторов при конструировании счетчика.

1) Счетчик должен иметь достаточно широкие диапазоны предельных подвижностей, от ультратяжелых ионов до молионов, и измеряемых концентраций от нескольких десятков (в естественных условиях) до нескольких миллионов элем. зарядов в куб. сантиметре (при искусственной ионизации).

2) Счетчик должен работать по методу разрядки (с заземленной внешней обкладкой), так как по методу зарядки затруднительно учитывать краевой эффект или же требуется применение защиты, усложняющей конструкцию [6, 7].

3) Счетчик должен иметь высокочувствительный электрометр, т. е. напряжение конденсатора не должно входить в показание электрометра.

4) Действие держателей внутренней обкладки, искажающее осевую симметрию и вызывающее турбулентцию, должно быть сведено к минимуму.

5) Счетчик должен иметь мостовую (компенсационную) схему, которая дает возможность избавиться от влияния нестабильности источника питания на показания электрометра.

6) Должно быть устранено влияние поляризации и проводи-

мости изоляторов на показания электрометра, а также увлажнение или запыление изоляторов при измерении аэрозолей.

7) Счетчик должен иметь полное питание как от сети, так и от аккумуляторов и сухих элементов.

8) Счетчик должен быть переносным.

Описываемый счетчик атмосферных ионов (рис. 1) представляет собой усовершенствованный вариант счетчиков аэро- и гидроионов, разработанных в Тартуском государственном университете [8, 9], отличающийся от последних применением мостовой схемы [10, 11] и полного питания либо от сети переменного тока, либо от сухих элементов.

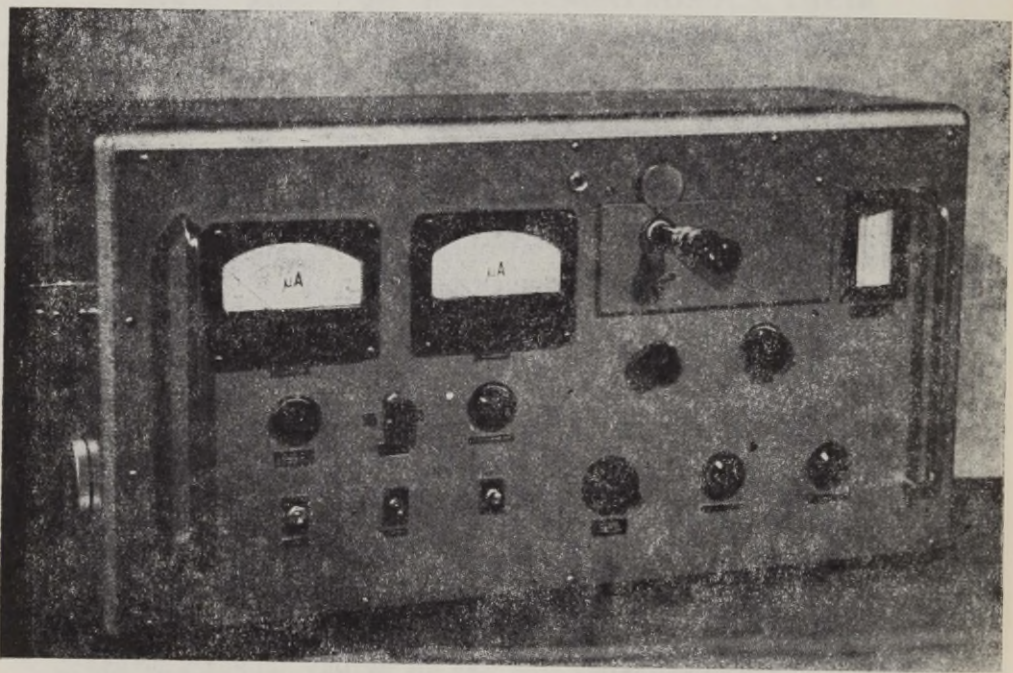


Рис. 1. Общий вид счетчика.

Из ранее известных счетчиков атмосферных ионов, предназначенных для измерения как легких, так и тяжелых ионов, наиболее совершенным является счетчик, разработанный Комаровым и др. [11]. В отличие от него у описываемого счетчика изоляторы внутренней обкладки являются более защищенными от увлажнения или запыления и предусмотрено полное питание как от сети, так и от сухих элементов. Для точного сравнения надежности изоляторов нет достаточных сведений. Описываемый счетчик значительно уступает счетчику Комарова в чувствительно-

сти, так как не имелось в наличии динамического электрометра.

Параметры настоящего счетчика определены по опыту конструирования счетчиков аэро- и гидроионов.

Основным узлом у описываемого счетчика (рис. 2) является цилиндрический измерительный конденсатор $C_{и}$, через который просасывается воздух. Напряжение на конденсатор снимается с источника постоянного напряжения $ИН$. Внешняя обкладка конденсатора заземлена (метод разрядки). Через конденсатор

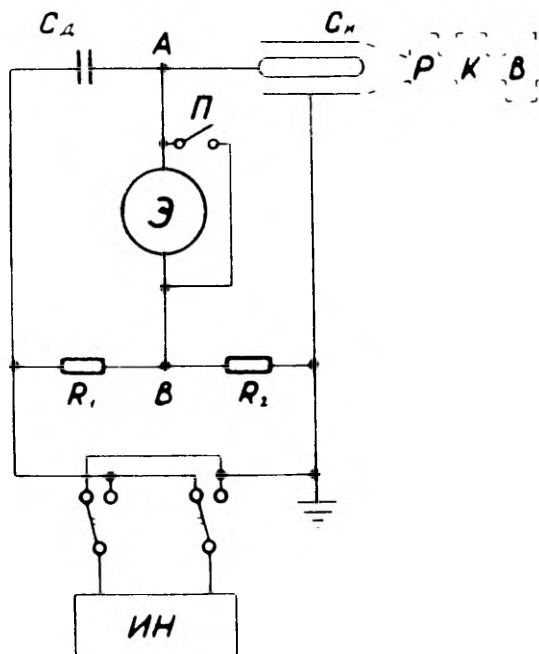


Рис. 2. Принципиальная схема счетчика.

просасывается воздух, подлежащий исследованию. Величина заряда, осевшего в единицу времени на внутреннюю обкладку, измеряется электрометром Э (типа СГ-1М) и секундомером, объемная скорость потока воздуха — ротаметром Р. Поток воздуха создается вентилятором В и регулируется краном К.

Мост состоит из измерительного конденсатора $C_{и}$, дополнительного конденсатора $C_{д}$ и сопротивлений R_1 и R_2 . Элементы моста выбираются таким образом, чтобы мост был уравновешен, для этого

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{C_{и}}{C_{д}}.$$

В начале измерения потенциалы на узлах схемы А и В равны. Когда контакт П размыкается, потенциал изолирован-

ного узла A начинает уменьшаться за счет тока ионов в Si и электрометр регистрирует разность потенциалов между узлами A и B .

Мы не будем останавливаться на детальном изложении теории аспирационного счетчика [6, 12, 13]. Предельная подвижность κ_0 определяется действующей емкостью измерительного конденсатора C , напряжением на конденсаторе φ и объемной скоростью потока воздуха Φ :

$$\kappa_0 = \frac{\Phi}{4\pi C\varphi}$$

Величина осевшего заряда Δq определяется как произведение падения потенциала $\Delta\varphi$ на сумму всех емкостей C_0 , соединенных с узлом A .

$$\Delta q = C_0 \Delta\varphi.$$

Приведем основные данные описываемого счетчика.

Цилиндрический измерительный конденсатор имеет следующие размеры: длина внутренней обкладки 500 мм, диаметр внутренней обкладки 20 мм, диаметр внешней обкладки 39,5 мм. Действующая емкость $C = 37$ см. Общая емкость $C_0 = 134$ см. Наибольшее напряжение конденсатора $\varphi_{\text{макс}} = 300$ в. Ротаметр, измеряющий объемную скорость потока воздуха, имеет диапазон от 44 до 630 см³/сек.

Отсюда следует, что наименьшая предельная подвижность $\kappa_{0 \text{ мин}} = 0,00032$ см²/в.сек. Для достижения предельной подвижности 2 см²/в.сек при $\Phi = 630$ см³/сек требуется напряжение $\varphi = 0,68$ в, причем максимальная, принципиально возможная разрешающая способность [14] $R_0 = \frac{k}{\Delta k} = 2,7$ С увеличением напряжения конденсатора R_0 увеличивается.

Изменением чувствительности электрометра достигается возможность определения плотностей заряда порядка от ста до нескольких миллионов элементарных зарядов в кубическом сантиметре. При этом минимальная измеряемая плотность заряда (точнее, время экспозиции и ошибка от дрейфа нулевого положения электрометра) будет тем больше, чем меньше объемная скорость потока воздуха. В целях уменьшения времени экспозиции, а также искажений от объемного заряда и диффузии следует всегда пользоваться максимальной возможной объемной скоростью при данной предельной подвижности. При предельной подвижности, например, $\kappa_0 = 0,001$ см²/в.сек и времени экспозиции $\Delta t = 200$ сек, погрешность измеряемого падения потенциала будет меньше 10%, если измеряемая плотность заряда $n \gtrsim 600$ е/см³ (e — элем. заряд). Максимальная измеряемая плотность заряда ограничена минимальным возможным временем экспозиции, допустимой погрешностью предельной подвижности, обуслов-

ленной изменением напряжения конденсатора во время экспозиции и действием объемного заряда [14]. Указанная погрешность будет меньше 10%, если, например, при $\kappa_0 = 0,1 \text{ см}^2/\text{в.сек}$ $n \lesssim 10^6 \text{ е/см}^3$, или соответственно при $\kappa_0 = 2 \text{ см}^2/\text{в.сек}$ $n \lesssim 5 \cdot 10^4 \text{ е/см}^3$

Для определения общей погрешности счетчика требуются дальнейшие опыты по стабильности, но можно ориентировочно полагать, что при средних предельных подвижностях и плотностях заряда эта погрешность не превышает 10%.

Принципиальная электрическая схема описываемого счетчика приведена на рис. 3. Включение измерительного конденсатора, электрометра и источника напряжения соответствует вышеописанной принципиальной схеме.

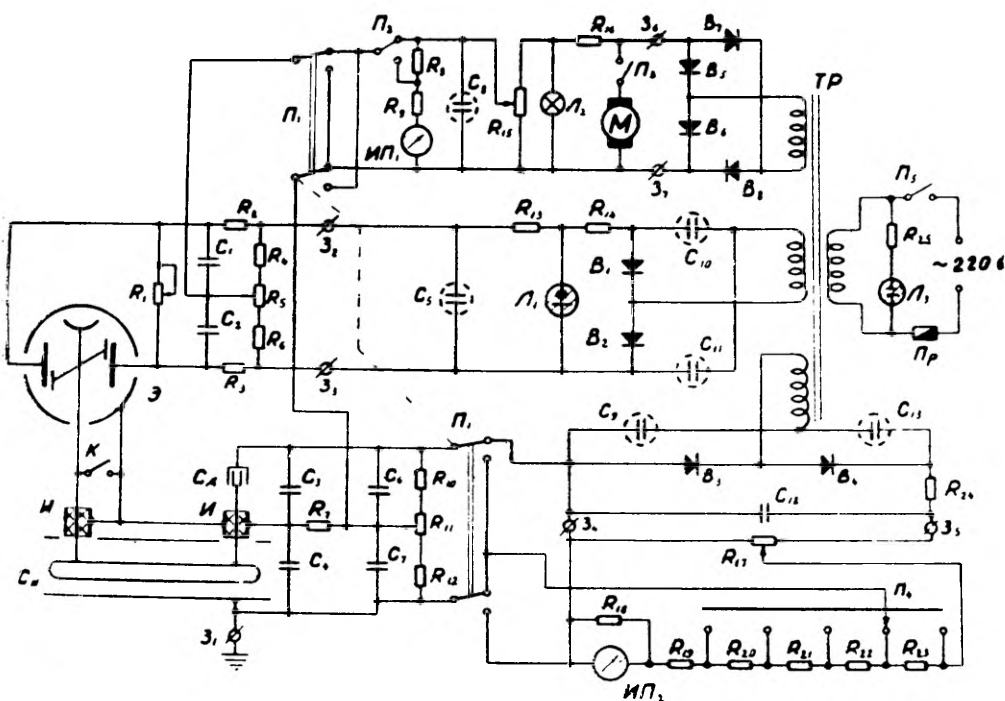


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема счетчика.

Источником напряжения служит выпрямитель с удвоением напряжения (B_3, B_4, C_9, C_{13}). Напряжение регулируется потенциометром R_{17} и переключателем Π_4 , полярность изменяется переключателем Π_1 . В цепи моста используются проволочные сопротивления порядка 0,5 Мом (R_{10} и R_{12}). Емкость дополнительного конденсатора $C_d = 70 \text{ см}$. Для точного уравнивания

моста служит проволочный потенциометр R_{11} . Фильтр (C_3, C_4, R_7, C_6, C_7) служит для подавления переменной составляющей напряжения у электрометра. Это подавление имеет целью избавиться от случайных скачков индекса электрометра при размыкании контакта K . Для уравнивания моста в отношении переменного тока должно быть выполнено соотношение

$$\frac{C_3}{C_4} = \frac{C_6}{C_7} = \frac{C_d}{C_i}$$

Напряжение на пластины вспомогательного поля электрометра снимается с выпрямителя с удвоением напряжения (B_1, B_2, C_{10}, C_{11}) и стабилизатором L_1 . Величина напряжения (чувствительность электрометра) регулируется делителем напряжения (R_1, R_2, R_3). Конденсаторы C_1 и C_2 служат для подавления переменной составляющей напряжения. Сопротивлениями R_4, R_5 и R_6 устанавливается средний потенциал между пластинами вспомогательного поля (нулевое положение индекса). Напряжение для градуировки и питания лампочки подсветки шкалы электрометра L_2 снимается с выпрямителя для питания мотора вентилятора (B_5, B_6, B_7, B_8).

Выведены зажимы $З_2, З_7$ для подключения батарей и аккумуляторов при отсутствии сети (например, в условиях экспедиции).

Внутренняя обкладка измерительного конденсатора закрепляется в двух местах с помощью вертикальных стержней, которые проведены сквозь малые отверстия во внешней обкладке и закрепляются в изоляторах из оргстекла (рис. 4). Для предотвращения поляризации изоляторы помещены в цилиндрическую коробку, служащую электростатическим экраном, электродом опорного напряжения и (механическим) держателем их. Так как изоляторы отделены лабиринтом от измерительного конденсатора, то увлажнения или запыления изоляторов при измерении аэрозолей не происходит. Имеется возможность помещения гигроскопического вещества в коробку изоляторов в случае особенно большой влажности воздуха. С целью уменьшения краевого эффекта конец внутренней обкладки расположен не у самого входного отверстия, а на 5 см глубже. По специальным измерениям емкость, характеризующая краевой эффект, $C' \approx \approx 5 \cdot 10^{-6}$ С. В нормальных условиях, если концентрация тяжелых ионов не менее, чем концентрация легких ионов, ошибка от краевого эффекта не превышает 3%.

Один стержень, закрепляющий внутреннюю обкладку, служит также электрическим соединением внутренней обкладки с подвижной системой электрометра, другой — с внутренней обкладкой дополнительного конденсатора.

Дополнительный конденсатор (рис. 5) имеет диэлектриком

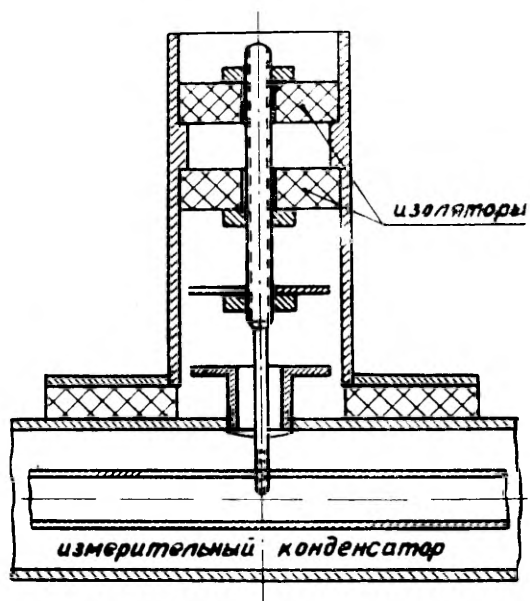


Рис. 4. Разрез коробки изоляторов.

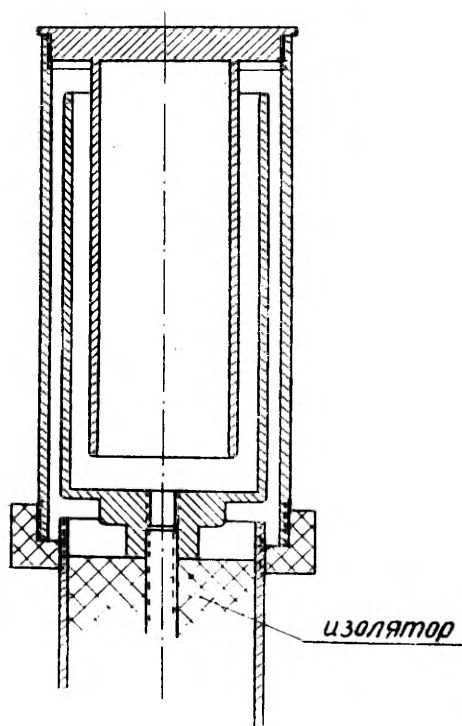


Рис. 5. Разрез дополнительного конденсатора.

воздух для предотвращения поляризационных влияний на процесс измерения.

Прибор вмонтирован в металлический корпус с габаритными размерами $830 \times 320 \times 420$ мм. Вес прибора 30 кг. Все органы управления, а также микроскоп электрометра выведены на переднюю панель.

Заключение

Сконструирован переносный аспирационный счетчик атмосферных ионов, имеющий диапазон предельных подвижностей от ультратяжелых ионов до молионов и диапазон измеряемых концентраций (при средних предельных подвижностях) порядка от ста до нескольких миллионов элементарных зарядов в кубическом сантиметре. Счетчик работает по методу разрядки, причем напряжение измерительного конденсатора не входит в показание электрометра. Изоляторы внутренней обкладки защищены от поляризации и увлажнения или запыления (при измерении аэрозолей).

Счетчик имеет полное питание как от сети переменного тока, так и от аккумуляторов и сухих элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минх А. А., Ионизация воздуха и ее гигиеническое значение. Москва, 1958.
2. Schmidt, A., Biologische Wirkung der Luftelektrizität, Bern 1936.
3. Edström, G., Studies in natural and artificial atmospheric electric ions, Lund 1935.
4. Васильев Л. Л., Теория и практика лечения ионизированным воздухом. Ленинград, 1953.
5. Nüchel, H., Aerosol-Therapie. Stuttgart 1957.
6. Israël, H., Gerl. Beitr. 1931, 31, 191; 1932, 35, 341; 1932, 36, 34.
7. Siksnà, R., Arkiv för Geofysik. 1952. 1, 483.
8. Рейнет Я. Ю., Ученые записки Тартуского государственного университета № 59. Труды по геофизике. Тарту. 1958.
9. Портнов Ф. Г., Аэроионы и их лечебное применение, Рига, 1961.
10. Erikson, H. A., Phys. Rev., 1921, 18.
11. Комаров Н. Н., Кузьменко М. Д., Середкин А. А., Известия АН СССР. Серия геофизическая 1961, № 12.
12. Имянитов И. М., Приборы и методы для изучения электричества атмосферы. Москва, 1957.
13. Таммет Х. Ф., Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1960, № 8.
14. Таммет Х. Ф., Изв. АН СССР, Сер. геофиз. 1962, № 6.

KANTAV ATMOSFÄÄRIIOONIDE LOENDAJA

J. Reinet ja J. Salm

Resümee

On konstrueeritud kantav atmosfääriioonide aspiraatorloendaja, mis võimaldab mõõta ionide kontsentratsioone piirliikuvuse väärtustes kergetest ionidest kuni ultraraskete ionideni.

Laengutihedused, mille suurusjärg on 10^2 kuni 10^7 el. laeng/cm³, on loendaja abil kergesti registreeritavad.

Loendaja töötab laengukaomeetodil kõrgtundliku elektro-meetriga.

Siseelektroodi kandvad isolaatorid on kaitstud polarisatsiooni, niiskuse ja tolmu eest.

Loendajal on elektriline toide kas vahelduvvooluvõrgust või akumulaatorist ja kuivelementidest.

PORTABLE COUNTER OF ATMOSPHERIC IONS

J. Reinet and J. Salm

Summary

A portable aspirating counter of atmospheric ions has been constructed which makes it possible to measure concentrations of ions depending on the limit mobility, ranging from light to ultra-heavy ions.

The charge densities whose order of magnitude ranges from 10^2 to 10^7 electronic charge/cm³ can easily be registered by the counter.

The counter operates on the discharging method with a sensitive electrometer.

The insulators bearing the inner electrode are protected from polarization, humidity and dust.

The counter is fed electrically from a net of the alternating current or from an accumulator with dry batteries.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ОБЪЕМНОГО ЗАРЯДА В АСПИРАЦИОННЫХ СЧЕТЧИКАХ АЭРОИОНОВ

Х. Ф. Таммет

Аспирационный метод является наиболее распространенным методом исследования ионизационного состояния воздуха, позволяя изучать распределение ионов в широком диапазоне подвижностей. Аспирационный метод разработан для изучения слабо ионизованного атмосферного воздуха, что позволяет в теории метода пренебречь электрическим полем объемного заряда. Но аспирационные счетчики применяются и для исследования искусственно ионизованного воздуха. При этом, а в исключительных случаях также в атмосферном воздухе, пренебрежение влиянием объемного заряда в измерительном конденсаторе счетчика не оправдано. Настоящая статья посвящена вопросу применения аспирационных счетчиков для изучения сильно ионизованного воздуха со значительной плотностью объемного заряда. Будем придерживаться определений и обозначений, примененных в статье (1), где изложена теория аспирационного метода в идеализованных условиях.

Действие электрического поля объемного заряда проявляется в двух следствиях: во-первых, возникают дополнительные индуцированные заряды на внутренней обкладке измерительного конденсатора и, во-вторых, функция распределения плотности заряда не сохраняется [1]. Точный учет этих отклонений в общей теории аспирационного счетчика не приводит к определенным результатам из-за математических затруднений. Поэтому вводим следующие упрощающие предположения:

1) измерительный конденсатор должен быть идеально цилиндрическим;

2) плотность объемного заряда между обкладками конденсатора должна быть постоянной.

Первое из этих предположений для большинства применяемых счетчиков хорошо оправдано. Следует отметить, что параметры измерительного конденсатора практически вычисляются почти всегда, исходя из такого предположения. Второе предположение вносит значительные ограничения, оно оправдано

только в том случае, если объемный заряд обусловлен ионами, подвижность которых значительно меньше предельной подвижности счетчика. Результаты, получаемые исходя из последнего предположения, могут быть непосредственно применены только при измерении в области легких и средних ионов, если объемный заряд обусловлен тяжелыми ионами. В общем случае получаемые результаты могут служить грубым приближением, которое позволяет оценить погрешности, обусловленные влиянием объемного заряда, и установить пределы применимости аспирационного метода.

Цилиндрический конденсатор с объемным зарядом между обкладками

Разделим заряд внутренней обкладки конденсатора на две составляющие

$$Q = Q_0 + Q' \quad (1)$$

где Q_0 заряд при $\varphi = 0$ и Q' дополнительный заряд, индуцированный объемным зарядом. Вводим побочную величину

$$\varphi_0 = -\frac{Q'}{C}, \quad (2)$$

где C — емкость конденсатора. Теперь можем заряд внутренней обкладки выразить следующим образом

$$Q = C(\varphi - \varphi_0) \quad (3)$$

где φ — напряжение между внутренней и внешней обкладкой. Отсюда выясняется физический смысл величины φ_0 ; это есть напряжение внутренней обкладки, при котором заряд равняется нулю.

Найдем выражение φ_0 , рассматривая для этого конденсатор, в котором $\varphi = \varphi_0$ и поэтому $Q = 0$. Так как диэлектрическая проницаемость воздуха принимается равной единице и электрическое поле в конденсаторе по соображениям симметрии будет чисто радиальным, то уравнение электростатического поля в настоящем случае будет

$$\frac{1}{r} \frac{d(rE)}{dr} = 4\pi\rho, \quad (4)$$

где r обозначает расстояние от оси конденсатора и ρ — плотность объемного заряда. Интегрируя это уравнение и учитывая, что напряженность электрического поля на поверхности внутренней обкладки при условии $Q = 0$ равняется нулю, получаем

$$E = 2\pi\rho \left(r - \frac{r_1^2}{r} \right), \quad (5)$$

где r_1 — радиус внутренней обкладки.

Интегрируя выражение (5) от $r = r_1$ до $r = r_2$, где r_2 радиус внешней обкладки, получаем результат

$$\varphi_0 = a \varrho, \quad (6)$$

где введено обозначение

$$a = \pi \left(r_2^2 - r_1^2 - 2 r_1^2 \ln \frac{r_2}{r_1} \right) \quad (7)$$

Предельная подвижность

Предельная подвижность счетчика k_0 определяется как подвижность, при которой функция распределения тока $J(k)$ при данном напряжении φ и объемной скорости Φ достигает насыщения

$$J(k) = \Phi \varrho(k), \quad (8)$$

где $\varrho(k)$ — функция распределения плотности заряда. Для вычисления предельной подвижности следует найти выражение функции распределения тока в области проводимости. Функция распределения тока вычисляется интегрированием функции распределения плотности тока $\vec{j}(k)$ через всю поверхность внутренней обкладки

$$J(k) = \iint \vec{j}(k) \vec{dS} = k \iint \varrho(k) E dS. \quad (9)$$

Функция распределения плотности заряда $\varrho(k)$ в настоящем случае не сохраняется. Его изменение в точке, которая движется по закону $\vec{v} = \vec{u} + kE$, определяется [1] следующим выражением

$$\frac{\partial \varrho(k)}{\partial t} = -4 \pi \varrho k \varrho(k). \quad (10)$$

Решение этого уравнения при постоянной ϱ следующее

$$\varrho(k) = \varrho_0(k) e^{-4 \pi \varrho k t}, \quad (11)$$

где $\varrho_0(k)$ обозначает $\varrho(k)$ в момент $t = 0$.

Так как E является в рассматриваемом случае постоянной величиной, можем теперь найти

$$J(k) = k E \varrho_0(k) \iint e^{-4 \pi \varrho k t} dS. \quad (12)$$

Вычисление последнего интеграла возможно лишь в том случае, если распределение скорости течения воздуха \vec{u} в конден-

саторе известно. Полагаем, что \vec{u} является постоянной. Тогда t выражается формулой

$$t = \frac{x\Sigma}{\Phi}, \quad (13)$$

где x — расстояние рассматриваемой точки от начала внутренней обкладки и $\Sigma = \pi(r_2^2 - r_1^2)$ — сечение потока воздуха. Выполняя интегрирование и учитывая соотношения (3) и (6), получаем

$$J(k) = \frac{\Phi C(\varphi - \varphi_0) a Q_0(k)}{l \varphi_0 \Sigma} \left(e^{-\frac{4\pi \rho_0 l \Sigma k}{a \Phi}} - 1 \right), \quad (14)$$

где l — длина конденсатора.

Вводим безразмерную постоянную геометрической формы конденсатора

$$b = \frac{2 \frac{r_2^2}{r_1^2} \ln \frac{r_2}{r_1} - \frac{r_2^2}{r_1^2} + 1}{\frac{r_2^2}{r_1^2} - 2 \ln \frac{r_2}{r_1} - 1} \quad (15)$$

Зависимость параметров a и b от отношения $\frac{r_2}{r_1}$ иллюстрирует рис. 1.

Легко проверить равенство

$$\frac{l \Sigma}{a C} = 1 + b, \quad (16)$$

которое упрощает формулу (14):

$$J(k) = \frac{\Phi(\varphi - \varphi_0) Q_0(k)}{(1+b)\varphi_0} \left(e^{-\frac{4\pi C \varphi_0(1+b)k}{\Phi}} - 1 \right) \quad (17)$$

Вводим понятие характерной подвижности, определяемой следующим выражением:

$$k' = \frac{\Phi}{4\pi C \varphi_0(1+b)}. \quad (18)$$

Функция распределения тока примет теперь следующий вид:

$$J(k) = -4\pi C(\varphi - \varphi_0) k' Q_0(k) \left(1 - e^{-\frac{k}{k'}} \right). \quad (19)$$

Уравнение предельной подвижности получается от равенства выражений (19) и (8). Учитывая, что в выражении (8) $Q(k)$ обозначает функцию распределения плотности заряда в

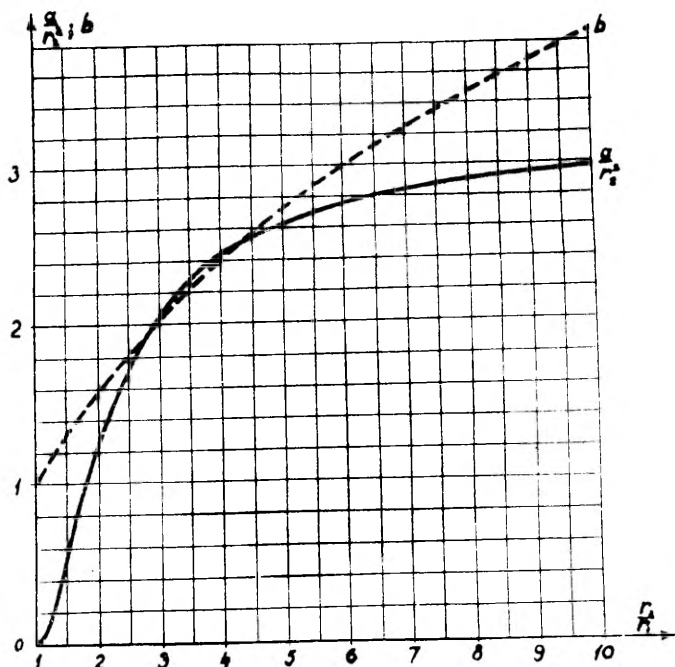


Рис. 1. Зависимость параметров a и b от отношения радиусов обкладок конденсатора.

момент поступления воздуха в конденсатор, т. е. $Q_0(k)$, получается условие

$$4\pi C(\varphi - \varphi_0)k' \left(e^{-\frac{k_0}{k'}} - 1 \right) = \Phi, \quad (20)$$

из которого определяется k_0

$$k_0 = k' \ln \frac{\varphi - \varphi_0}{\varphi + b\varphi_0} \quad (21)$$

Это выражение, несмотря на компактность, оказывается неудобным при малых значениях φ_0 . Хотя при переходе $\varphi_0 \rightarrow 0$ выражение (21) имеет предел

$$\lim_{\varphi_0 \rightarrow 0} k_0 = - \frac{\Phi}{4\pi C\varphi}, \quad (22)$$

при непосредственном вычислении получается неопределенность. Кроме того, выражение (21) не наглядно еще в том смысле, что затруднено определение погрешностей, возникающих при пренебрежении влиянием объемного заряда.

Во многих случаях более удобным будет следующее разложение

$$k_0 = -\frac{\Phi}{4\pi C\varphi} \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sum_{m=0}^n (-b)^m}{n+1} \left(\frac{\varphi_0}{\varphi} \right)^n \right] \quad (23)$$

Погрешность определения подвижностей при пренебрежении влиянием объемного заряда будет в первом приближении следующая:

$$\frac{\Delta k}{k} = \left| \frac{a(b-1)q}{2\varphi} \right| \quad (24)$$

Эта погрешность при изучении естественной ионизации атмосферного воздуха обычно незначительна и только в исключительных случаях может достичь заметной величины. При искусственной ионизации погрешность оказалась бы во многих случаях недопустимо большой, что заставляет вычислять предельную подвижность по формулам (21) или (23).

Следует запомнить ограничивающие условия, при которых выведена формула предельной подвижности (21), что позволяет полученные результаты во многих случаях применять лишь в качестве приближения.

Обсуждая результаты, следует обратить внимание на то обстоятельство, что предельная подвижность не определена в промежутке $[\varphi_0, -b\varphi_0]$. В этом промежутке аргумент натурального логарифма в выражении (21) принимает отрицательные значения и ряд (23) не сходится. Зависимость $\frac{1}{k_0}$ от φ в примерных условиях иллюстрирует рис. 2.

Такое поведение k_0 объясняется существованием слоя инверсии напряженности электрического поля в измерительном конденсаторе, если φ находится в намеченном промежутке. При $\varphi = \varphi_0$ этот слой достигает внутренней обкладки, при $\varphi = -b\varphi_0$ — внешней обкладки. Так как ионы с любой подвижностью не могут проникать через слой инверсии, то действительно в таком случае не может быть предельной подвижности.

Определение функции распределения плотности заряда

Функция распределения плотности заряда вычисляется исходя из экспериментально определяемой функции $J = J(\varphi)$. Для вывода соответствующих формул необходимо вывести выражение $J = J(\varphi)$ и исключить оттуда функцию $q_0(k)$, так как нашей задачей является определение функции распределения плотности заряда в момент поступления исследуемого воздуха в счетчик.

Силу тока найдем, интегрируя выражения (8) и (19) в областях, где эти выражения действительны.

$$J(\varphi) = \varepsilon \Phi \int_{k_0}^{\varepsilon \infty} \varrho_0(k) dk + 4\pi C(\varphi - \varphi_0) k' \int_{k_0}^0 \varrho_0(k) \left(1 - e^{-\frac{k}{k'}}\right) dk, \quad (25)$$

$\varepsilon = \frac{k_0}{|k_0|}$ обозначает здесь функцию полярности, которая введена для одновременной записи выражения J в случае отрицательной и положительной предельной подвижности. В промежутке, где k_0 не определено, действительна та же формула (25), если принять

$$k_0 = \varepsilon \infty, \quad \varepsilon = \frac{k'}{|k'|} = \frac{q}{|q|}$$

Для решения интегрального уравнения (25) полезно ввести аналогично с обычной теорией побочную функцию $h(\varphi)$

$$h(\varphi) = \frac{\varepsilon}{\Phi} \left[J(\varphi) - (\varphi - \varphi_0) \frac{dJ(\varphi)}{d\varphi} \right], \quad (26)$$

которая имеет наглядную геометрическую интерпретацию (рис. 3). Геометрическая интерпретация функции $h(\varphi)$ применяется для графического определения этой функции методом касательных. Учитывая формулу (19), найдем выражение $h(\varphi)$, которое будет следующее:

$$h(\varphi) = \int_{k_0}^{\varepsilon \infty} \varrho_0(k) dk. \quad (27)$$

Отсюда видно, что $h(\varphi)$ будет, независимо от плотности объемного заряда, равной частной плотности заряда в промежутке $[k_0, \varepsilon \infty]$. Частные плотности заряда для других областей вычисляются, как обычно.

$$\varrho(k_{01}, k_{02}) = h(\varphi_1) - h(\varphi_2) \quad (28)$$

Функция распределения плотности заряда определяется дифференцированием выражения (27), откуда получается

$$\varrho_0(k) = - \frac{4\pi C(\varphi - \varphi_0)(\varphi + b\varphi_0)}{\Phi} \frac{dh(\varphi)}{d\varphi} \quad (29)$$

Учитывая выражение (26), получаем для определения $\varrho_0(k)$ следующую формулу:

$$\varrho_0(k) = \varepsilon \frac{4\pi C(\varphi - \varphi_0)^2(\varphi + b\varphi_0)}{\Phi^2} \frac{d^2 J}{d\varphi^2} \quad (30)$$

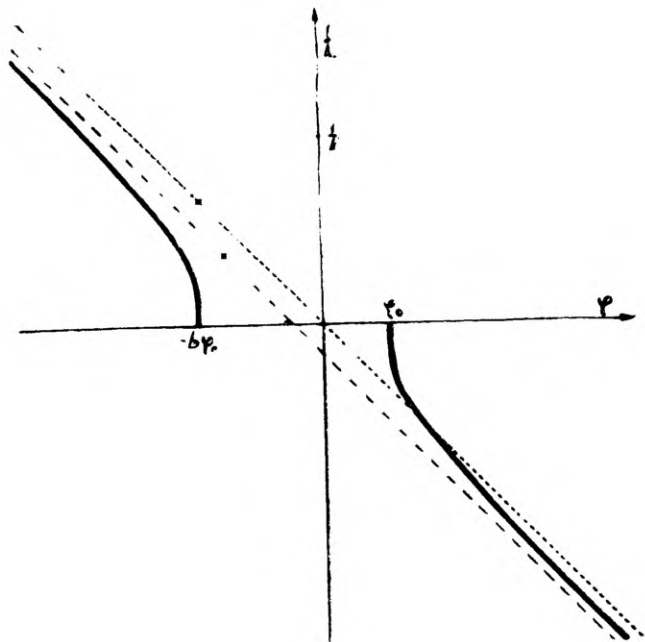


Рис. 2. Зависимость $\frac{1}{k_0}$ от φ . Пунктиром показана зависимость $\frac{1}{k_0}$ от φ при $q = 0$, прерывистой линией асимптота функции $\frac{1}{k_0}(\varphi)$.

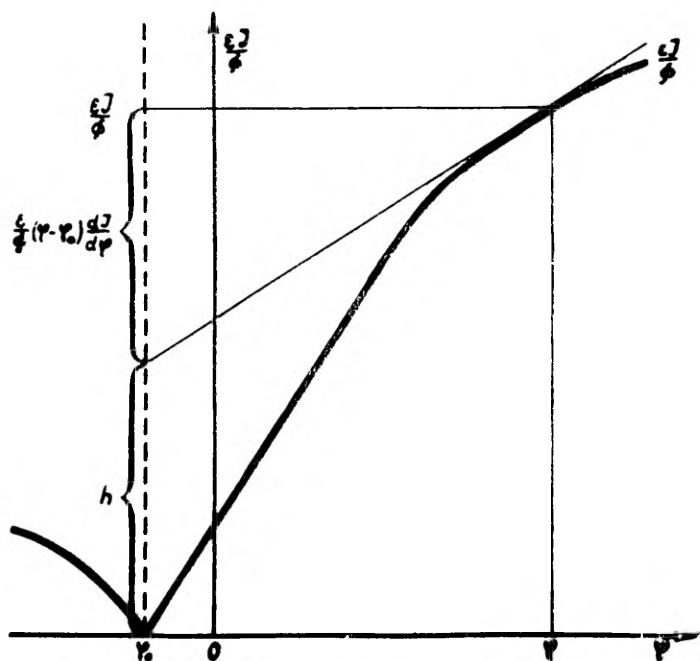


Рис. 3. Определение $h(\varphi)$ методом касательных.

Измерение плотности объемного заряда

При значительной плотности объемного заряда возможны некоторые дополнительные методы измерения, имеющие прикладное значение. Такие методы основаны на формуле (6), которая позволяет произвести непосредственное измерение плотности объемного заряда. Напряжение φ_0 может экспериментально определяться, так как потенциал изолированной внутренней обкладки приближается к значению φ_0 . Плотность объемного заряда вычисляется по формуле

$$\rho = \frac{\varphi_0}{a} \quad (31)$$

Отметим, что описанный метод определения плотности объемного заряда аналогичен известному методу Томсона и может рассматриваться как модификация метода Томсона.

Непосредственное определение φ_0 часто связано с большими погрешностями, особенно при униполярной ионизации. В таком случае ток ионов, осаждающихся на внутренней обкладке, не прекращается при $\varphi = \varphi_0$ и даже при $|\varphi| > |\varphi_0|$, а поддерживается диффузией ионов. Так как при униполярной ионизации ионов противоположной полярности не имеется, то напряжение изолированной внутренней обкладки может значительно превосходить φ_0 . Для предотвращения такого рода погрешностей следует φ_0 определить экстраполяцией силы тока в области напряжения $[\varphi_0, -b\varphi_0]$. Такая экстраполяция сильно упрощается обстоятельством, что в этой области предельной подвижности не существует и поэтому сила тока зависит от напряжения линейно.

Практические измерения несколько усложняются тем, что сила тока определяется по изменению напряжения внутренней обкладки $I \sim \frac{d\varphi}{dt}$. Предлагаем следующую методику практического определения φ_0 . Вначале производится грубая интуитивная оценка φ_0 на основе наблюдения изменения напряжения изолированной внутренней обкладки. Выбираем напряжение φ_1 , которое должно быть близко к $-\varphi_0$, но не больше $-b\varphi_0$. Теперь заряжаем внутреннюю обкладку до потенциала φ_1 или выше. Изолируем внутреннюю обкладку и определяем время Δt , которое требуется для изменения напряжения от φ_1 до нуля. После этого следим за дальнейшим изменением напряжения и определяем φ_2 , которого достигает напряжение внутренней обкладки через промежуток времени, равный Δt , после прохождения нуля. φ_0 вычисляется из полученных данных по формуле, которую напишем для абсолютных значений напряжений в виде:

$$\varphi_0 = \frac{\varphi_1 \varphi_2}{\varphi_1 - \varphi_2} \quad (32)$$

Вывод этой формулы основан на том, что J является пропорциональным разности $(\varphi - \varphi_0)$, откуда получается экспоненциальный закон изменения напряжения

$$\varphi = \varphi_0 [1 - e^{-\alpha(t-t_0)}], \quad (33')$$

где t_0 — момент прохождения нуля и α — неизвестная постоянная. Написав это выражение при $t - t_0 = -\Delta t$, $\varphi = \varphi_1$ и $t - t_0 = \Delta t$, $\varphi = \varphi_2$, получаем уравнения, решение которых приводит к формуле (32).

Возможность определения плотности объемного заряда расширяет значительно возможности применения счетчиков легких ионов при изучении искусственно ионизованного воздуха. Появляются дополнительные возможности, например, в условиях униполярной ионизации возможно определение средней подвижности тяжелых ионов при помощи счетчика легких ионов. Для этого определяют q , частную плотность объемного заряда легких ионов $q(k_1, \varepsilon\infty)$ и частную проводимость $\lambda(0, k_1)$, обусловленную тяжелыми ионами, подвижность которых меньше k_1 . Так как в настоящем случае $q = \varepsilon q(0, \varepsilon\infty)$, то $q(0, k_1) = \varepsilon q - q(k_1, \varepsilon\infty)$. Средняя подвижность ионов, подвижность которых меньше k_1 , определяется теперь формулой

$$\bar{k}(0, k_1) = \frac{\int_0^{k_1} k q(k) dk}{\int_0^{k_1} q(k) dk} = \frac{\lambda(0, k_1)}{\varepsilon q - q(k_1, \varepsilon\infty)}. \quad (34)$$

Описанный метод определения средней подвижности может быть полезным особенно при изучении гидроаэроионизации.

Дополнительный метод определения функции $q(k)$

Предлагаем метод, основанный не на экспериментальном определении функции $J = J(\varphi)$, а на экспериментальном определении функции $J = J(\Phi)$ при $\varphi = 0$. Преимущество описываемого метода заключается в том, что при определении $J = J(\Phi)$ распределение объемного заряда в конденсаторе искажается меньше, чем при определении $J = J(\varphi)$. Обращаем внимание на то, что не допускается зависимость $q_0(k)$ от объемной скорости Φ . Это достигается всасыванием воздуха в прибор с постоянной объемной скоростью и направлением у входа измерительного конденсатора остаточного воздушного потока по шунтирующему тракту.

Сила тока при $\varphi = 0$ будет

$$J = -\frac{\varepsilon \Phi}{1+b} \int_0^{\infty} \varrho_0(k) \left[1 - e^{-\frac{k}{k'}} \right] dk. \quad (35)$$

Обозначая

$$f(k') = -\varepsilon \frac{(1+b)}{\Phi} J(\Phi), \quad (36)$$

получаем для $\varrho_0(k)$ уравнение Фредгольма первого рода

$$f(k') = \int_0^{\infty} \varrho_0(k) (1 - e^{-\frac{k}{k'}}) dk. \quad (37)$$

Это уравнение разрешается численными методами. Уравнение (37) легко приводится к виду, который позволяет $\varrho_0(k)$ определить как оригинал экспериментально определяемого изображения

$$g\left(\frac{1}{k'}\right) = \frac{a(1+b) J(\Phi) + \Phi \varphi_0}{a \Phi} \quad (38)$$

преобразования Лапласа.

Следует отметить, что описанный метод может дать удовлетворяющие результаты все же только при изучении $\varrho(k)$ в области подвижностей, которые значительно превышают подвижность ионов, обуславливающих объемный заряд.

Существенной положительной чертой предложенного метода является то, что обобщение этого метода на изменяющуюся плотность объемного заряда не представляет столь принципиальных затруднений, как при обычном методе. Причина этого заключается в том, что при $\varphi = 0$ функция $\varrho(k)$ в конденсаторе зависит только от одной пространственной переменной. Основные затруднения связаны с уравнением электростатического рассеивания

$$\frac{\partial \varrho(k, t)}{\partial t} = -4 \pi k \varrho(k, t) \int_{-\infty}^{+\infty} \varrho(k, t) dk, \quad (39)$$

которое в общем случае разрешается только численными методами.

Уравнение электростатического рассеивания упрощается, если функция $\varrho(k)$ сингулярна. Рассмотрим кратко метод определения подвижности ионов, если исследуемый воздух содержит ионы только с одной подвижностью k . Это наиболее простой случай, имеющий прикладное значение. Благодаря сингу-

лярности функции $\varphi(k)$, уравнение электростатического рассеивания будет

$$\frac{d\varrho}{dt} = -4\pi k \varrho^2. \quad (40)$$

Решение этого уравнения следующее:

$$\varrho = \frac{\varrho_0}{1 + 4\pi k t \varrho_0}, \quad (41)$$

где ϱ_0 — значение ϱ в момент $t = 0$.

Напряженность электрического поля на внутренней обкладке будет

$$E = -\frac{a\varrho}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (42)$$

При этом предполагается, что конденсатор является достаточно длинным и узким, чтобы напряженность электрического поля в конденсаторе могла считаться чисто радиальной. Сила тока вычисляется обычным путем

$$J = k \iint \rho E dS = \frac{ak\varrho_0^2}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}} \iint \frac{dS}{(1 + 4\pi k t \varrho_0)^2} \quad (43)$$

Применяя соотношение (13), выполняем интегрирование. Получаем результат

$$J = \frac{4\pi C \varphi_0^2 k k'}{a(k + k')}, \quad (44)$$

где $\varphi_0 = a\varrho_0$. Исключая k из выражения (44), получаем

$$k = \frac{aJk'}{4\pi Ck'\varphi_0^2 - aJ} \quad (45)$$

Обсуждение применимости аспирационного метода при сильной ионизации

Как было уже отмечено, искажения результатов измерения, обусловленные электрическим полем объемного заряда, поддаются расчетам только при определенных ограничивающих условиях. В практике эти условия выполняются достаточно точно только в случае измерения легких ионов, если объемный заряд обусловлен тяжелыми ионами. Для постоянства плотно-

сти объемного заряда в конденсаторе требуется еще выполнение условия

$$\bar{k} \varrho \ll \frac{\Phi}{4\pi\Sigma l}, \quad (46)$$

где \bar{k} — средняя подвижность ионов, обуславливающих объемный заряд.

Некоторыми дополнительными возможностями обладает предложенный новый метод, при котором $\Phi = 0$, но применимость и этого метода ограничивается условием (46). Обобщение этого метода на изменяющуюся плотность объемного заряда освобождает от условия (46), но усложняет вычисления. Методика вычисления $\varrho(k)$ в последнем случае не разработана. Вычисления при изменяющейся плотности объемного заряда легко осуществимы только в случае, если исследуемый воздух содержит ионы только с одной подвижностью.

Практические измерения в случае значительной плотности объемного заряда затрудняются еще тем, что предельная подвижность при больших k_0 зависит сильно от малых изменений Φ_0 , так что колебание плотности объемного заряда во время измерения вносит большие погрешности.

В случае сильной биполярной ионизации плотность объемного заряда может быть малой и поэтому на первый взгляд кажется, что пренебрежение объемным зарядом допустимо. Это все же отнюдь не так. Электрическое поле измерительного конденсатора сепарирует ионы и вызывает в конденсаторе распределение объемного заряда, которое искажает электрическое поле конденсатора. Высказанное иллюстрирует рис. 4, поясняющий распределение ионов в конденсаторе.

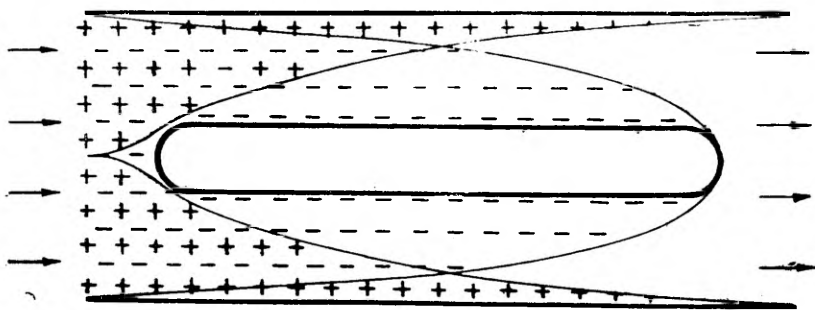


Рис. 4. Распределение ионов в конденсаторе, в случае, когда в исследуемом воздухе абсолютное значение подвижности всех положительных и отрицательных ионов равняется предельной подвижности конденсатора.

Влияние объемных зарядов при изучении биполярной ионизации меньше, чем при изучении униполярной ионизации, так как искажения при малых напряжениях уменьшаются пропорционально напряжению. Вопрос влияния объемных зарядов при биполярной ионизации не изучен, поэтому пределы возможных погрешностей неизвестны. Без вычислений можно утверждать, что эти погрешности не больше погрешностей при униполярной ионизации с равной полярной плотностью заряда. Анализ погрешностей при сильной биполярной ионизации усложняется еще необходимостью учета рекомбинации.

Таким образом следует заключить, что исследование распределения ионов при сильной униполярной ионизации выполнимо лишь в некоторых определенных условиях, и даже тогда точность результатов может оказаться крайне низкой. В остальных случаях можно лишь указать пределы погрешностей, которые вносит влияние объемного заряда. Значительные погрешности могут возникнуть и в случае сильной биполярной ионизации, хотя плотность объемного заряда в исследуемом воздухе может быть равной нулю.

Выводы

Воздействие объемного заряда в измерительном конденсаторе аспирационного счетчика проявляется в возникновении дополнительного индуцированного заряда на внутренней обкладке и в несохраняемости функции $q(k)$. Учет этих обстоятельств позволяет вывести уточненную формулу предельной подвижности (21) и указать способ вычисления функции $q_0(k)$ при некоторых ограничивающих условиях.

Предложен новый метод определения плотности объемного заряда.

Рассмотрена возможность определения функции $q_0(k)$ при $\varphi = 0$, используя электрическое поле объемного заряда. Показана возможность определения подвижности ионов в случае, если исследуемый воздух содержит ионы только одной подвижности, не предполагая постоянства плотности объемного заряда в счетчике.

Указано, что искажения электрического поля в счетчике возникнут также при отсутствии свободного объемного заряда в исследуемом биполярно ионизованном воздухе.

Полученные результаты применимы для определения возможных погрешностей при пренебрежении объемным зарядом и в некоторых случаях для учета воздействия объемного заряда при измерениях аспирационными счетчиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таммет Х. Ф., «К теории аспирационных счетчиков аэроионов». Изв. АН СССР, сер. геофиз. 1960, № 8.

RUUMLAENGU MÕJU AEROIOONIDE ASPIRATSIOONLOENDAJATES

H. Tammet

R e s ü m e e

Uuritava õhu ruumlaeng põhjustab laengutiheduse jaotusfunktsiooni $\rho(k)$ muutumist aspiratsioonloendaja mõõtekondensaatoris ning tekitab indutseeritud lisalaengu mõõtekondensaatori sisekattel, avaldades selle kaudu mõju mõõtmistulemustele. Ruumlaengu mõju saab mõningate kitsendavate eelduste korral arvesse võtta. See võimaldab tuletada täpsustatud piirliikuvuse valemi (21) ning näidata meetodi funktsiooni $\rho_0(k)$ määramiseks homogeense laengutiheduse korral silinderkondensaatoriga loendajas. On esitatud uus meetod õhu lahengutiheduse mõõtmiseks. Vaadeldakse funktsiooni $\rho_0(k)$ määramise võimalust, kasutades ainult ruumlaengu elektrivälja. Juhul, kui uuritav õhk sisaldab ainult ühe liikuvusega ioone, saab liikuvust määrata ilma, et eeldataks laengutiheduse homogeensust mõõtekondensaatoris. On näidatud, et tugevalt bipolaarselt ioniseeritud õhu uurimisel on mõõtekondensaatori elektriväli moonutatud ka vaba ruumlaengu puudumise korral.

Saadud tulemusi võib kasutada ruumlaengu mõjust tingitud mõõtmisvigade hindamiseks tavaliste mõõtmismeetodite korral ning mõningail juhtudel ruumlaengu mõju arvestamiseks aeroioonide liikuvuste ning laengutiheduse jaotusfunktsiooni määramisel.

THE INFLUENCE OF SPACE CHARGE IN ASPIRATION COUNTERS OF AIR IONS

H. Tammet

S u m m a r y

The space charge of the air under investigation causes an alteration of the charge density distribution function $\rho(k)$ and induces an extra charge at the inner shell of the measuring condenser, influencing thereby the readings. The contribution of the

space charge can be taken into account under certain restrictive assumptions, which enable us to derive a more precise formula for the limiting mobility (formula 21) and suggest a method for determination of the function $q_0(k)$ in case of homogeneous charge density in the counter with a cylindric condenser. A new method for the measuring of the charge density of the air is proposed. The possibility of calculating of the charge density distribution function $q_0(k)$ is considered making use only the electric field of the space charge. If the air contains ions with only one mobility, the mobility can be calculated by abandoning the homogeneity restriction on the charge density in the measuring condenser. The electric field of the measuring condenser is shown to be distorted also in absence of any free space charge, when the ionized air has a great bipolar charge density.

The results obtained here may be useful for the estimation of possible inaccuracies resulting from the disregard of space charge by ordinary measurement methods. In some cases, they can be applied to the calculation of the effect of space charge on mobilities of air ions and on charge density distribution functions.

О РОТОРНЫХ ГИДРОИОНИЗАТОРАХ

Я. И. Сальм и Э. И. Тамм

В настоящей статье изложены результаты изучения свойств роторных гидроионизаторов. Выяснены характеризующие их параметры и методы определения последних; проведен ряд практических измерений. Получены также некоторые теоретические результаты. Ряд результатов в большой степени действителен и для гидроионизаторов вообще.

1. Введение

Под роторным гидроионизатором мы имеем в виду распылитель, в котором скорость, необходимая для распыления, придается жидкости с помощью вращающегося диска. Образующиеся при распылении капельки жидкости заряжены (баллоэлектрический эффект). Притом, в зависимости от химического состава жидкости, образующийся аэрозоль может иметь значительный пространственный заряд. Например, при дистиллированной воде образуется отрицательный пространственный заряд [1].

Заряженные капельки — гидроионы — выводятся из ионизатора обычно струей воздуха, создаваемой вентилятором на одном валу с ротором. Устройство и принцип работы типичного роторного гидроионизатора поясняет рис. 1.

Целью настоящей работы является выяснение свойств таких ионизаторов и возможности улучшения их конструкции. Притом нельзя пройти и мимо вопроса о методах измерения. Конкретно изучались ионизатор массового производства «Серпухов»-1 и изготовленный для опыта ионизатор аналогичной конструкции. Все данные приведены для дистиллированной воды.

С практической точки зрения нас интересуют только установившиеся, стационарные процессы и величины. Поэтому в дальнейшем мы коснемся только этих величин. Приведем без определения важнейшие характеризующие параметры.

1) Главнейшим параметром является распределение заря-

женных капель по пространственным координатам, заряду и массе (объему). Надо отметить, что практически это распределение определить невозможно. Наилучшим приближением к

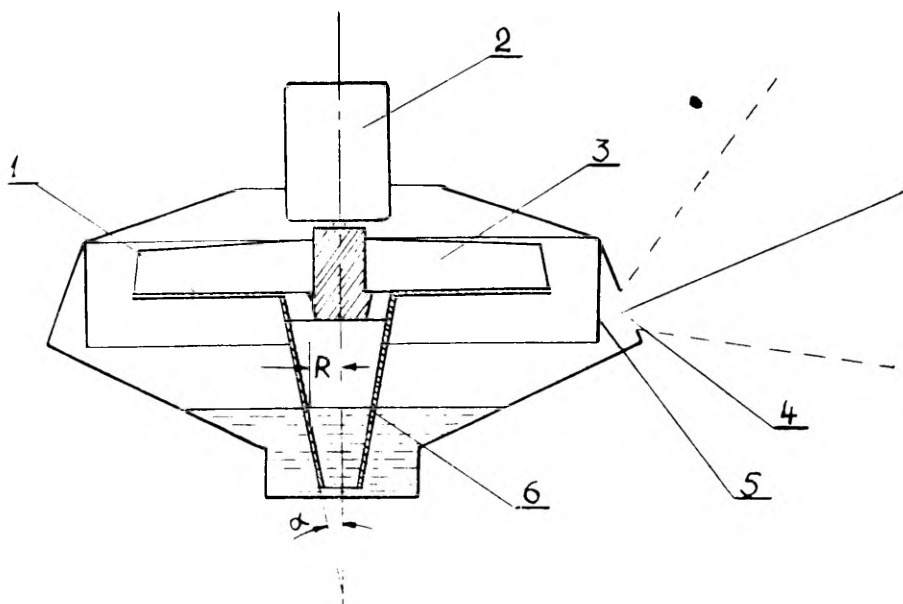


Рис. 1. Устройство роторного гидроионизатора: 1 — ротор (диск), 2 — электродвигатель, 3 — вентилятор, 4 — выходное отверстие, 5 — кольцо для распыления жидкости, 6 — конус для подачи жидкости.

этому распределению является практически определяемое распределение плотности заряда по пространственным координатам и подвижностям $\vec{q}(r, k)$ и распределение капель по массе (объему) $\vec{g}(m)$. Распределение $\vec{q}(r, k)$ можно определить счетчиком ионов. Следует подчеркнуть, что распределение заряда не совпадает с распределением гидроионов, так как заряд ионов неизвестен. Для определения распределения $\vec{g}(m)$ существует несколько методов. Из функции распределения $\vec{g}(m)$ можно установить все средние величины.

2) Ионизатор характеризуют еще и многие интегральные величины. Отметим полярные токи J_+ и J_- и общий ток

$$J = |J_+ - J_-|,$$

определяющие мощность ионизатора (его ионизирующую способность). Имеют еще значение объемные скорости потока воздуха и потока жидкости, выходящих из ионизатора, Q_v и $Q_{ж}$.

Все вышеприведенные величины зависят от частоты вращения ротора v , которая поддается регулировке.

2. Определение функций распределения

Рассмотрим сперва распределение плотности заряда без дифференцирования по подвижностям. Пространственное распределение плотности заряда определяется в основном следующими факторами: движением воздуха, электростатическим рассеиванием, рекомбинацией и диффузией.

Движение воздуха представляет собой в данном случае созданный для выведения ионов поток воздуха; конвекция, по-видимому, имеет меньшее значение. При ламинарном течении движение воздуха не изменяет плотности заряда. В случае роторных ионизаторов мы имеем дело с довольно большими числами Рейнольдса (порядка 10^3), притом еще происходит сильное смешивание воздуха в ионизаторе, в результате чего струя воздуха турбулентна.

В случае выходящей из маленького отверстия турбулентной струи в среде из того же вещества происходит захват среды, струя представляет собой конус с углом раствора 25° — 30° объемная скорость в сечении струи зависит линейно от расстояния от отверстия x [2]. Сила электрического тока постоянна. Таким образом, на оси струи получаем

$$q = \frac{J}{Q_b} = \frac{\text{const}}{x} \quad (1)$$

По краям струи влияют уже многие мешающие факторы, и там это распределение заряда искажается. Приведенное распределение заряда на оси струи подтверждено опытом.

Электростатическое рассеивание моноомобильных (с одной подвижностью) ионов в системе координат, движущейся со скоростью струи, определяется законом

$$\frac{1}{q} - \frac{1}{q_0} = 4 \pi k t \quad (2)$$

Для оценки скорости рассеивания возьмем из опыта $q_0 = 10^6$ эл. зар./см³ (плотность заряда у выходного отверстия «Серпухов»-1) и $k = 0,3$ см²/в сек (максимальная подвижность в аэрозоле, создаваемом тем же ионизатором). Получим, что за 1 сек. плотность заряда уменьшается приблизительно на $\frac{2}{3}$ от своего начального значения. Так как средняя плотность заряда и средняя подвижность гораздо меньше, электростатическое рассеивание не оказывает заметного влияния на плотность заряда, а изменяет функцию распределения заряда по подвижностям — уменьшает плотность ионов с большей подвижностью.

Рассеивание полиомобильных ионов не поддается аналитическому расчету, но можно довольно просто выразить относи-

тельное изменение плотности заряда с различными подвижностями. Имеет место общее соотношение [3]:

$$\frac{\partial \varrho(k, t)}{\partial t} = -4\pi k \varrho(k, t) \int_{-\infty}^{+\infty} \varrho(k, t) dk. \quad (3)$$

Отсюда:

$$\varrho(k) = \varrho_0(k) \left(\frac{\varrho(k_1)}{\varrho_0(k_1)} \right)^{\frac{k}{k_1}}. \quad (4)$$

Итак, по известной функции распределения плотности заряда до рассеивания мы можем вычислить функцию распределения после рассеивания по измерениям только для одной подвижности k_1 . Определение становится проще, если аэрозоль содержит группу ионов с большой подвижностью, а остальные ионы имеют гораздо меньшую подвижность, так что их можно считать практически не рассеивающимися.

Рекомбинация определяется главным образом коагуляцией капелек, причем главное значение имеет термическая коагуляция [4]. Приближенные расчеты показывают, что 10%-ое уменьшение плотности капелек при термической коагуляции происходит только за 1 час.

Влияние диффузии можно также считать ничтожным, так как коэффициент диффузии $D \approx 10^{-7} \frac{\text{см}^2}{\text{сек}}$ [4].

В заключение можно сказать, что при не очень больших плотностях заряда $\left(\rho \lesssim 10^6 \frac{\text{эл. зар.}}{\text{см}^3} \right)$ применима формула (1) и для определения плотности заряда на оси струи достаточно измерения в одной точке.

Измерение плотности заряда в некоторой точке без дифференцирования по подвижностям производится счетчиком ионов в режиме тока полного насыщения. Для определения «спектра» ионов по подвижностям простейшим и распространеннейшим прибором является интегральный или дифференциальный счетчик ионов. При этом главным источником ошибок являются разрешающая способность счетчика и неполная стационарность измеряемого распределения. Дифференцирование результатов, необходимое при интегральном и дифференциальном счетчике первого порядка, еще увеличивает ошибки. Поэтому нельзя рассчитывать на большую точность при определении «спектра» ионов.

При наличии объемного заряда обычная теория определения подвижностей неприменима. Учет влияния объемного заряда очень сложно и часто неосуществимо [3]. Поэтому следует уменьшить объемный заряд в воздухе, всасываемом счетчиком, но так, чтобы само распределение заряда по подвижностям су-

ственно не изменялось. Для этого надо подводить деионизированный воздух, следя, чтобы заряд распределялся в нем равномерно. Это осуществляется выделением части струи при помощи конуса с малым отверстием (рис. 2).

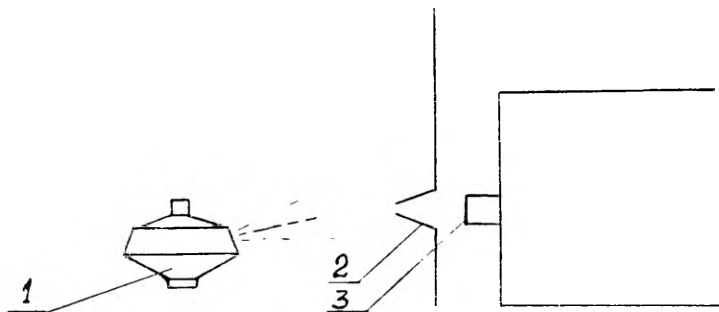


Рис. 2. Выделение части струи при помощи конуса с малым отверстием: 1 — ионизатор, 2 — конус с экраном, 3 — входное отверстие счетчика.

Изменение функции распределения заряда от точки к точке вызвано, главным образом, следующими факторами: электростатическим рассеиванием, испарением, коагуляцией и диффузией капель.

При электростатическом рассеивании функция распределения изменяется по формуле (3). Опытные данные согласуются с формулой (4). Это указывает на то, что электростатическое рассеивание является главным фактором, изменяющим функцию распределения.

Испарение должно привести в конечном счете к образованию легких газовых ионов, но обнаружить их не удалось. По-видимому, испарение происходит в действительности гораздо медленнее, чем по теории Максвелла [5]. Образование легких ионов коронным разрядом с поверхности капли невозможно, как это показали расчеты по методу кусочной аппроксимации, разработанному Капцовым [6].

Два последних фактора считаем несущественными в связи с вышеприведенными обоснованиями.

Для определения распределения капель по массе (радиусу) существует ряд микроскопических и седиментометрических методов [4]. Простейшим из них можно считать метод центрифуги. Для практической работы также пригодны: 1) инерционное осаждение капель на покрытой жидким маслом стеклянной пластинке и последующее микрофотографирование пробы; 2) измерение скорости падения капель под действием силы тяжести. При инерционном осаждении надо учитывать, что малые капли могут не выходить из струи и не осаждаться. Поэтому необходимо добиться достаточной эффективности осаждения [4].

При обработке результатов рекомендуется выяснить, не является ли функция распределения логарифмически-нормальной. Для этого вычерчиваем график этой функции в координатах, где на оси абсцисс нанесены значения $\lg r$, а на оси ординат — аргумент функции Крампа ξ и соответствующие ему значения величины $\frac{1}{2} (1 + \operatorname{Erf} \xi) = \frac{N_{0 \dots r}}{N_{0 \dots \infty}}$ [4]. Если график оказывается прямой, то распределение логарифмически-нормально. Точка пересечения прямой с осью абсцисс дает логарифм геометрического среднего радиуса $\lg r_g$, а крутизна прямой дает величину $\frac{1}{\sqrt{2} \sigma}$ где

$$\sigma = \sqrt{(\lg r - \lg r_g)^2}$$

В приведенном случае просто определяются все средние и медианные радиусы:

$$\left(\overline{r^{\pm n}} \right)^{\frac{1}{n}} = r_g 10^{\frac{\pm 2,3n \sigma^2}{2}}, \quad (5)$$

$$r_{mn} = r_g 10^{2,3n \sigma^2} \quad (6)$$

Дисперсия определяется по известной формуле

$$D^2(r) = \overline{r^2} - r^2. \quad (7)$$

Проведенные опыты показали, что функция распределения числа капель по радиусам при указанных ионизаторах является логарифмически-нормальной.

Приведем, наконец, результаты практических измерений для ионизатора «Серпухов»-1 при использовании дистиллированной воды.

На расстоянии 20 см от выходного отверстия было зарядов с подвижностью $k \geq 0,3 \frac{\text{см}^2}{\text{в.сек}} - 40\%$, $0,3 > k \geq 0,08 \frac{\text{см}^2}{\text{в.сек}} - 15\%$ и $k < 0,08 \frac{\text{см}^2}{\text{в.сек}} - 45\%$. На основании измерений можно было бы предположить, что существуют три дискретных группы зарядов (с подвижностями 0,3; 0,08 и $0,03 \frac{\text{см}^2}{\text{в.сек}}$), но неопределенность ошибок измерения из-за неполной стационарности процесса не дает полного подтверждения такому предположению.

Плотность заряда у выходного отверстия достигает 10^7 эл.зар./см³ и уменьшается на оси струи по закону

$$\varrho = 4 \cdot 10^7 \frac{1}{x},$$

где x — расстояние от выходного отверстия. Формула применима для расстояний, где x значительно превышает диаметр выходного отверстия. Коэффициент униполярности, определяемый таким образом

$$U = \frac{q_+ - q_-}{q_+ + q_-},$$

оказывается $U = -0,8$.

Надо обратить внимание на встречающиеся в литературе (особенно в медицинской) данные о плотностях заряда ионизаторов, претендующие на большую точность. Так как аппаратура у большей части авторов не обеспечивает большую точность, эти данные должны быть правильны только в пределах порядка величины.

Из величин, характеризующих распределение капель, приведем следующие:

$$\begin{aligned} r_g &= 4,0 \text{ м}, \\ \sigma^2 &= 0,05. \end{aligned}$$

3. Определение интегральных величин

Полярные токи J_+ и J_- целесообразно измерять счетчиком ионов в режиме тока насыщения. При этом надо вводить весь выходящий из ионизатора воздух в счетчик. Если это невозможно (у ионизаторов с рассеянной струей воздуха) приходится ограничиваться приближенными расчетами по плотности заряда, скорости потока воздуха и площади сечения струи.

Просто и точно измеряется общий ток J , как ток между изолированным ионизатором и землей (гальванометром, ионометром).

Для измерения объемной скорости потока воздуха Q_v ротаметр не применим, так как он требует довольно большого давления и таким образом искажает результаты.

Можно рекомендовать вычисление Q_v по линейной скорости воздуха в струе, направленной в трубу с достаточно большим диаметром. Линейную скорость можно определить, например, анемометром. Q_v можно измерять непосредственно анемометром, откалиброванным по ротаметру, который имеет выходное отверстие, равное по диаметру отверстию ионизатора. Практически осуществимо также измерение объемной скорости входящего в ионизатор воздуха ротаметром, компенсируя падение давления в ротаметре внешним источником и употребляя анемометр в качестве индикатора у выходного отверстия ионизатора.

Простейший и точнейший метод для определения объемной скорости потока жидкости $Q_{ж}$ — взвешивание ионизатора.

Все названные интегральные величины являются функциями частоты вращения ротора ν . ν легко определить по высоте звука, вызванного вращением ротора.

В ионизаторах, где для подвода жидкости на пластинку ротора используется вращающийся конус (рис. 1), существует минимальная частота ν_0 , при которой жидкость поднимается на пластину

При частотах, удовлетворяющих условию $\nu > \nu_0$, Q , Q_v и $Q_{ж}$ зависят линейно, а J квадратично от ν (как показали результаты практических измерений).

Наконец, приведем данные для ионизатора «Серпухов»-1. Ток у выходного отверстия

$$J \approx -10^9 \text{ эл. зар./сек.}$$

Скорость потока воздуха

$$Q_v = 2000 \frac{\text{см}^3}{\text{сек.}}$$

Скорость потока жидкости

$$Q_{ж} = 1.2 \frac{\text{см}^3}{\text{мин.}}$$

Данные приведены для частоты

$$\nu = 1800 \frac{1}{\text{мин}}$$

(частота при нормальном напряжении питания $U = 220 \text{ в}$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Натансон Г. Л., Электризация при распылении жидкостей. Автореферат докт. диссертации, Москва, 1955.
2. Ландау Л. Д. и Лифшиц Е. М., Механика сплошных сред. Изд. 2-е, Гостехиздат, Москва, 1954.
3. Таммет Х. Ф., О воздействии объемного заряда в аспирационном счетчике. В этом же выпуске Трудов.
4. Фукс Н. А., Механика аэрозолей. Издат. АН СССР, Москва, 1955.
5. Шишкин Н. С., Облака, осадки и грозовое электричество. Гостехиздат, Москва, 1954.
6. Капцов Н. А., Коронный разряд, Москва—Ленинград, 1947.

ROOTORHÜDROIONISAATORITEST

J. Salm ja E. Tamm

Resümee

Käesolevas artiklis on käsitletud rootorhüdroionisaatorite iseloomustussuursusi ja nende määramise probleemi. On uuritud ionisaatori poolt ruumis tekitatava laetud aerosooli ja ionisaatori enda omadusi. On leitud, et aerosooli jaotuse ruumis määrab peamiselt ionisaatorist väljuv õhuvool ja laengute elektrostaatiline hajumine.

On antud kompleksne meetodika iseloomustussuursuste mõõtmiseks, samuti konkreetsed mõõtmistulemused ionisaatori «Серпухов»-1 kohta.

ON THE ROTOR-HYDRO-IONIZERS

J. Salm and E. Tamm

Summary

The present paper deals with the main characteristics of rotor-hydroionizers and the problem of their definition (measurement). The properties have been investigated of the charged aerosol made by the ionizer and the properties of the ionizer. It is found that the distribution of aerosol in the room is defined mainly by the air current and the electrostatical diffusion of charges.

A complex method is proposed for the measurement of characteristics and the concrete results of measurements for the ionizer «Серпухов»-1 too.

ИОНИЗАТОР МЕДИЦИНСКОГО КИСЛОРОДА

Я. Ю. Рейнет, В. А. Резбен и Э. И. Тамм

Кислородная терапия возникла почти одновременно с открытием кислорода, но возможность применения ионизированного кислорода в медицине еще мало известна, так как эта проблема до настоящего времени недостаточно исследовалась. Это обусловлено тем, что до сих пор не было ионизаторов, пригодных для ионизирования кислорода в медицинских целях.

Первыми пытались разрешить этот вопрос Лякост [1], Швейцер [2] и Зюттингер [3] и сконструировать кислородные ионизаторы с применением коронного разряда. При применении разработанного ими способа, кислород во время процесса ионизирования превращался в значительном количестве в озон, в связи с чем было невозможно исследование действия чистого ионизированного кислорода.

Несмотря на это, Петерсон [4] достаточно основательно исследовал действие смеси ионизированного кислорода с озоном на человека, т. н. «Oxygenas». Подчеркнем, что упомянутый ионизированный газ не является чистым ионизированным кислородом.

В физиологическом действии отрицательно ионизированных воздуха и кислорода не должно быть существенных различий, так как легкие отрицательные ионы в воздухе представляют собой главным образом ионизированные атомы или молекулы кислорода. Азот не образует отрицательных ионов. Тем не менее ионизирование чистого медицинского кислорода без побочных продуктов (озон и т. д.) представляет серьезный интерес. Это позволяет сравнивать действие легких ионов кислорода с действием ионов (заряженных частиц) других типов. Таким образом, возможно уяснение механизма физиологического действия ионов — действие ли это «активированного» кислорода или действие заряда. Наконец, это позволяет объединить кислородную терапию и аэроионотерапию.

Препятствующим фактором при изучении действия кислородных ионов является большая биологическая активность самого кислорода и особенно озона, который обычно возникает

при всех процессах, где имеет место распад молекул кислорода. Отсюда первым требованием, предъявляемым к ионизатору кислорода, является освобождение от возникновения озона. Следовательно, из более доступных методов ионизации, коронный разряд не применим и следует использовать свойство накаливаемых металлов образовывать ионы вблизи своей поверхности. Отрицательные ионы образуются прилипанием термоэлектронов к атомам и молекулам кислорода, а также захватом последними электронов на поверхности металла при соударениях [5, 6]. Тут распад молекул маловероятен, и озон возникает в ничтожных количествах. На поверхности металла возникают и положительные ионы. Механизм их возникновения еще не вполне выяснен. При помощи электрического поля ионы можно селективировать и получить практически униполярно ионизированный кислород. Так как в атмосфере кислорода сгорают все металлы, за исключением платины, то в качестве источника термоэлектронов возможно использовать лишь платину.

Первый термоионизатор кислорода был сконструирован в 1956 г. Я. Ю. Рейнетом в Тартуском государственном университете. Но он имел ряд существенных конструктивных недостатков, основным из которых является частое перегорание драгоценной платиновой проволоки при случайных прекращении охлаждающего потока кислорода и колебаниях напряжения сети. Конструкция электродов для прикрепления проволоки и заземленного электрода была непрочна и сложна в обращении.

Сконструированный авторами новый прибор (рис. 1) имеет автоматическую стабилизацию температуры платиновой проволоки. Он состоит из собственно ионизатора, ротаметра для дозирования количества кислорода и блока стабилизированного питания.

Собственно ионизатор (рис. 2) представляет собой эбонитовую пробку (2) со впрессованными стержнями (12) для прикрепления платиновой проволоки (7) (диаметром 0,3 мм) и подвода к ней тока и трубкой для подвода кислорода (10). На трубку надето специальное сопло (8), которое вместе с рассеивателем (9) формирует плоскопараллельную струю кислорода для равномерного охлаждения проволоки. Сопло служит и для создания равномерного по всей длине проволоки электрического поля. Сопло заземляется, на проволоку подается потенциал. Система электродов покрыта стеклянным колпаком (5), герметично прижатым к пробке контргайкой (3), и эбонитовым кожухом (1 и 6).

Блок питания содержит автоматический стабилизатор температуры проволоки и выпрямитель для создания электрического поля вокруг проволоки.

Стабилизация температуры платиновой проволоки происходит с помощью поддержания заданного сопротивления прово-

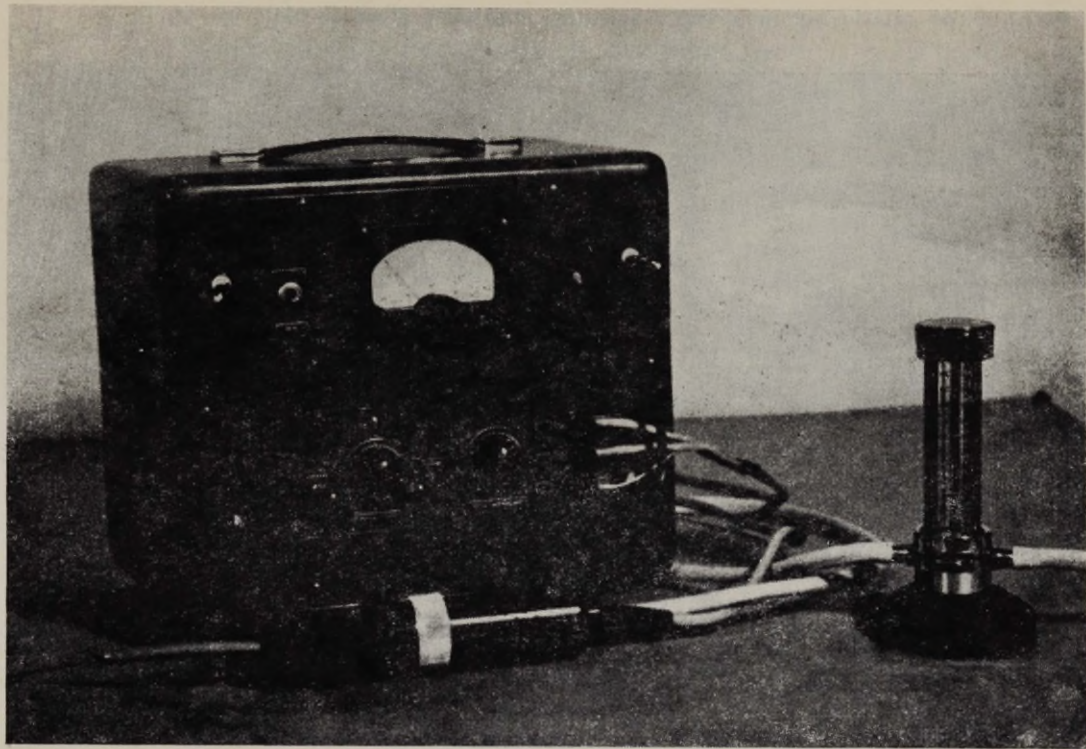


Рис. 1а. Кислородный концентратор вместе с ротаметром и блоком стабилизированного питания.

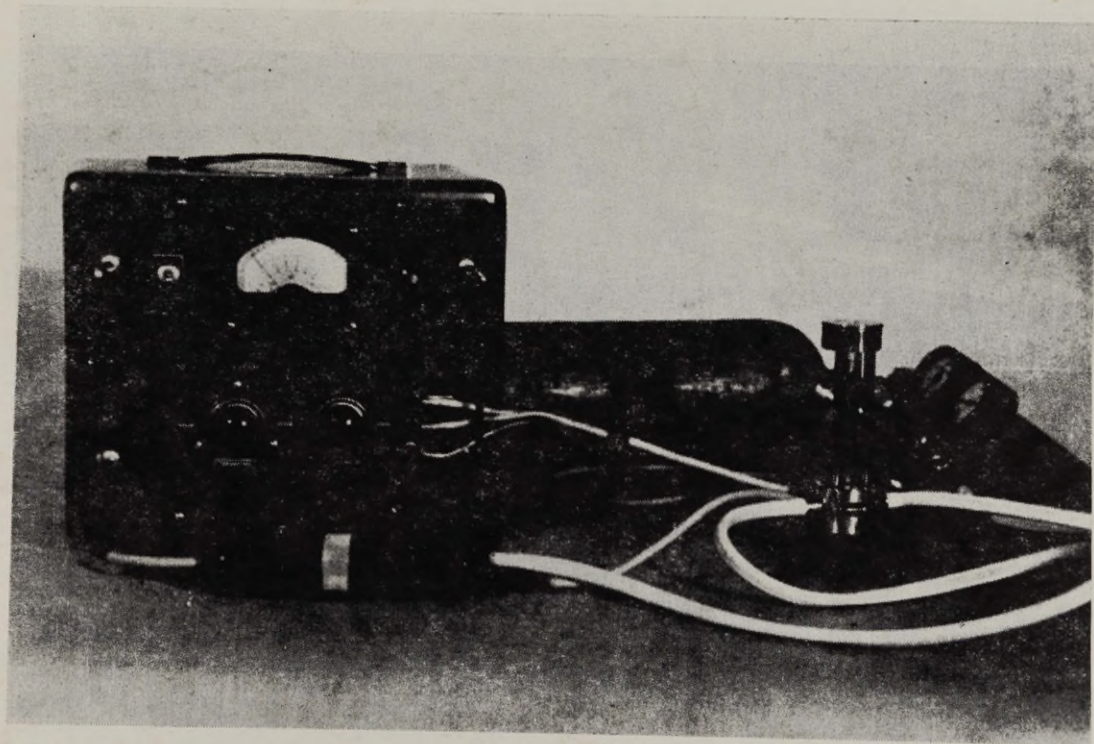


Рис. 16. Кислородный ионизатор соединен с баллоном кислорода.

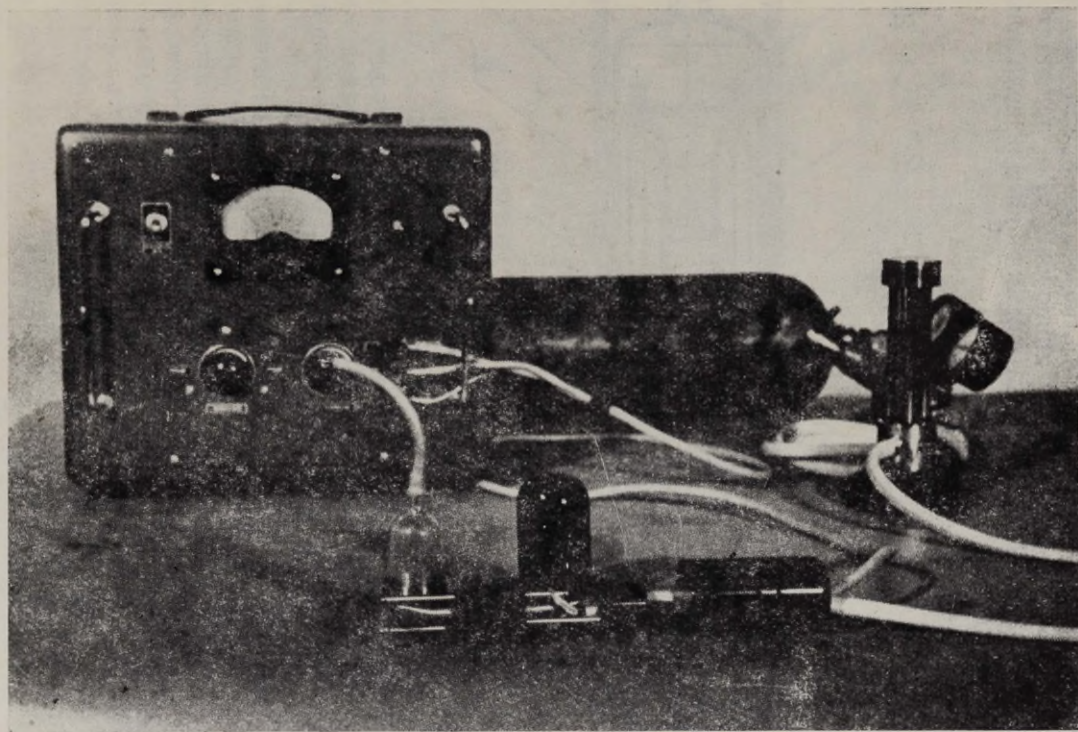


Рис. 1в. Кислородный ионизатор с открытой ионизационной камерой.

локи. При этом используется наличие положительного температурного коэффициента у платины, который является относительно постоянным в широком интервале температуры и равняется в среднем 0,0033. Подводимая к проволоке мощность регулируется автоматически таким образом, чтобы все время поддерживалось заданное сопротивление проволоки, т. е. заданная температура, независимо от условий охлаждения или величины сетевого напряжения.

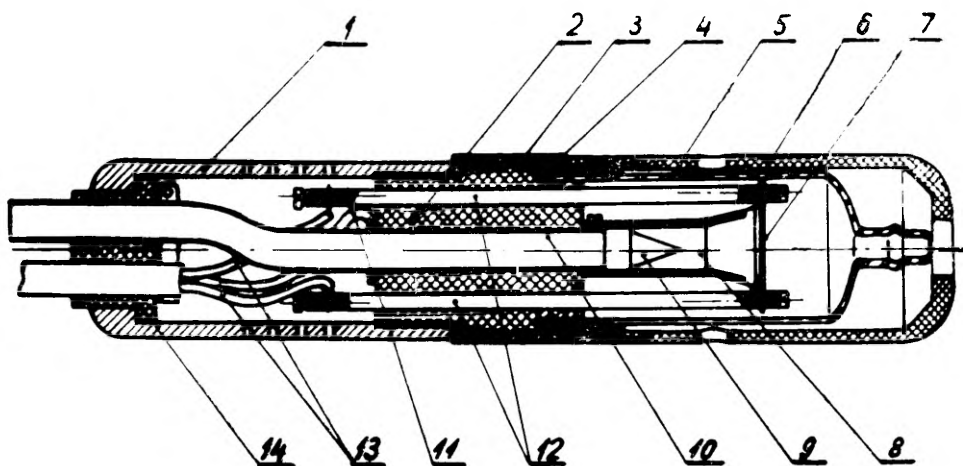


Рис. 2. Разрез ионизационной камеры.

По сравнению с фотоэлектрическим методом поддержания заданной световой температуры накаливаемого металла, метод сопротивления является более простым, что облегчает конструкцию самого ионизатора.

Принципиальная схема для регулирования по соотношению напряжения и тока (по сопротивлению) показана на рис. 3.

Сопротивление R_{pt} — накаливаемая платиновая проволока, $R_{манг}$ — установочный реостат из более толстой манганиновой проволоки с ничтожным температурным коэффициентом. Для экономии мощности регулируемого органа пропускают через $R_{манг}$ лишь незначительную долю общего тока. Условием регулирования является

$$\frac{w_1}{w_3} i_1 = \frac{w_2}{w_3} i_2,$$

где w_1 , w_2 , w_3 — число витков обмоток трансформаторов.

Принципиальная упрощенная схема устройства, реализующего вышеприведенное условие, показана на рис. 4. Схема построена на электронных лампах, которые управляют дросселя-

ми подмагничивания в цепи нагрузки. В цепи токов включены согласующие повышающие трансформаторы тока с коэффициентами трансформации соответственно 1:7000 и 1:700. Напряжение разбаланса подается на двухкаскадный усилитель постоянного тока 2, который управляет выходной лампой. В анод

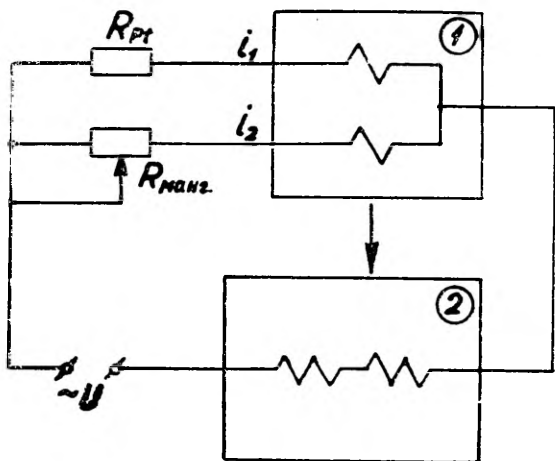


Рис. 3. Принципиальная схема автоматического регулирования. 1 — схема сравнения токов; 2 — схема регулирования тока.

выходной лампы включены обмотки управления дросселей подмагничивания, которые регулируют ток уже в основной цепи платиновой проволоки. При охлаждении проволоки на выходе выявительного органа возникает положительное напряжение разбаланса, которое после усиления открывает выходную лампу, восстанавливая баланс сопротивлений в основной цепи.

Создаваемый ионизатором ионный ток вполне определяется тремя факторами — температурой проволоки t , напряженностью электрического поля E вблизи проволоки (напряжением U между соплом и проволокой) и скоростью потока кислорода Φ . Теория и эксперимент показывают, что число возникающих ионов (особенно отрицательных) растет весьма быстро с повышением температуры поверхности металла. Отношение Φ и U определяет условия удаления ионов от проволоки. Для каждого значения Φ существует оптимальное U , при котором выходящий ионный ток максимален, и наоборот. Однако резкого максимума здесь не существует.

Описанный ионизатор применяется при ингаляции и для подкожного введения ионизированного кислорода. Условия применения подсказывают величину объемной скорости Φ — соответственно 150—200 см³/сек и 20 см³/сек. Экспериментальным

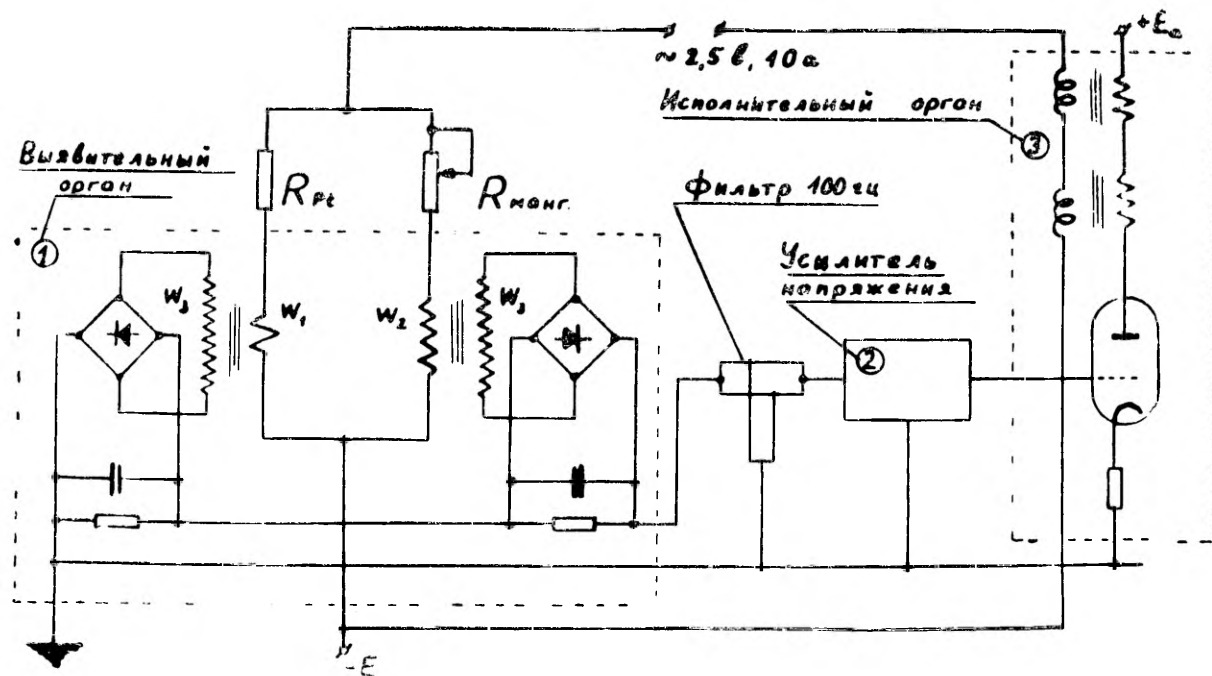


Рис. 4. Упрощенная схема автоматического регулирования

путем найдены оптимальные напряжения — соответственно 200 вольт и 50 вольт. Температура проволоки выбирается в целях экономии платины не очень высокой, около 1400°C (при более высоких температурах металл интенсивно испаряется). В таких условиях ионизатор создает ионные токи при ингаляции и при подкожном введении кислорода (соответственно порядка 10^8 и 10^7 эл.зар./сек; плотность ионов (плотность заряда) в выходящем кислороде в обоих случаях порядка 10^6 эл.зар./см³).

Приведенные данные получаются как при положительной, так и при отрицательной ионизации. Знак полярности ионов меняется переключением знака напряжения на проволоке.

Прибор работает в неврологическом отделении Тартуской республиканской клинической больницы. Проведено несколько научных исследований с помощью прибора, которые показывают явное воздействие ионизированного кислорода на многие функции организма. Кислородный ионизатор успешно применяется и в клинической практике.

Из результатов исследований, проведенных в упомянутой клинике под руководством доцента Э. И. Раудам, можно заключить, что в виде отрицательно ионизированного медицинского кислорода обнаружен новый фактор физической терапии, для применения которого имеются широкие перспективы почти во всех отраслях медицины [7, 8, 9, 10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Lacoste, Gas. Méd. de France, 315 (1951).
2. Schweitzer, U., Int. Rdsch. f. phys. Med., I. X. (1957).
3. Süttinger, H., Med. Mschr., 1955, 8, 526.
4. Petersen, B., Die Behandlung mit ionisiertem Sauerstoff, Med. Klinik, 1958, 48, 2078—2080.
5. Лёб Л., Основные процессы электрических разрядов в газах. Москва-Ленинград, 1950.
6. Капцов Н. А., Электроника, Москва, 1956.
7. Раудам Э. И., Рейнет Я. Ю., Вопросы курортологии V. Рига, 1959, стр. 231—240.
8. Рейнет Я. Ю., Научная сессия Тартуского гос. университета, Тезисы докладов, Тарту, 1957, стр. 50—51.
9. Паз А. Я., Рейнет Я. Ю., Реэбен В. А., Тамм Э. И., Всесоюзная конференция по аэро- и гидроионизации. Тезисы докладов, Медгиз. УзССР, Ташкент, 1960, стр. 149—150.
10. Раудам Э. И., Рейнет Я. Ю., Тезисы докладов V республиканской конференции по курортологии и физиотерапии, г. Пярну, 21—23 сентября 1961 г., Таллин, 1961, стр. 10.

MEDITSIINILINE HAPNIKUIONISAATOR

J. Reinet, V. Reeben ja E. Tamm

Resümee

On konstrueeritud aparatuur meditsiinilise hapniku unipolaarseks ja bipolaarseks ioniseerimiseks, kasutades ionisatsiooniallikana kõrge temperatuurini (1400°C) kuumutatud platinast elektroodi tugevas elektriväljas.

Hapnikuionisaatoris kasutatakse platinatraadi temperatuuri automaatset stabiliseerimist, mis võimaldab saada suurt ionide kontsentratsiooni ilma traadi läbipõlemise ohuta.

Temperatuuri stabiliseerimine toimub platinatraadi takistuse reguleerimise abil etteantud väärtusele.

MEDICAL OXYGEN IONIZER

J. Reinet, V. Reeben and E. Tamm

Summary

A device has been constructed for the unipolar or bipolar ionization of medical oxygen by using a platinum electrode heated up to 1400°C in a powerful electric field as a source of ionization.

In the oxygen ionizer we have used the automatic stabilization of the temperature of a platinum wire, which enables one to obtain a high concentration of ions without a danger of the wire burning through.

The stabilization of the temperature proceeds by the regulation of the resistance of the platinum wire to determined values.

ГЕНЕРАТОР ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЕЙ ДЛЯ АППАРАТОВ ИСКУССТВЕННОГО ДЫХАНИЯ ТИПА ДП-1 И ДП-2

Я. Ю. Рейнет, Э. И. Тамм и А. К. Сузи

Введение лекарственных веществ в организм в распыленном виде через дыхательные органы нашло широкое применение, особенно при лечении заболеваний самих дыхательных органов [1, 2, 3]. В распыленном состоянии медикамент действует очень эффективно, так как площадь соприкосновения частиц аэрозолей со стенками альвеол тем больше, чем мельче частицы. Например, при распылении капли с диаметром 2 мм на капельки с диаметром 2 мк получаем один миллиард капелек, общая площадь которых в тысячу раз больше площади первоначальной капли.

В аэрозольной терапии пациенты подвергаются лечению ингаляцией как группами, так и в одиночку. Генераторы аэрозолей для групповой ингаляции обеспечивают массовое лечение больных и вполне свободное дыхание, но имеют ряд существенных недостатков. Распыленный аэрозоль разносится по всей климатической камере, причем большая часть его пропадает не использованной, оседая на пол, на стенки камеры, на предметы, на одежду пациента и т. д. Такие генераторы не пригодны для распыления дорогостоящих лекарств. Поэтому широкое распространение находят генераторы аэрозолей для индивидуальной ингаляции. Такие приборы создают аэрозоли в ограниченном пространстве, и пациент вдыхает почти всю распыленную жидкость.

Так как электроаэрозоли более монодисперсны и стабильны в отношении коагуляции и оседают в большей мере в наших дыхательных путях и альвеолах [4,5], причем дают значительно лучшие результаты лечения [6—12], чем обычные аэрозоли, то требуется создание электроаэрозолей, т. е. униполярно заряженных аэрозолей.

К индивидуальным аэрозольным приборам обычно предъявляются следующие основные требования:

1. Размеры капель должны регулироваться в пределах 0,1—30 мк в целях осаждения частиц аэрозолей на различной глубине

дыхательных органов. Притом аэрозоли должны быть возможно монодисперсными.

2. Скорость распыления жидкости должна быть не менее 5 см^3 за 10 минут (обычная длительность сеанса). Количество нераспыленной жидкости должно быть минимальным (не более $0,5 \text{ см}^3$).

3. Вдыхание аэрозолей должно быть возможно более свободным, т. е. прибор должен выдавать требуемое для вдоха количество воздуха.

4. В целях лучшего осаждения в дыхательных путях пациента и предотвращения коагуляции капель следует их заряжать. Заряженные аэрозоли обладают и лечебными свойствами гидроаэроионов. При заряджении аэрозолей недопустимо возникновение биологически активных газов и других вредных побочных факторов.

5. Конструкция прибора должна предусматривать свободный доступ ко всем деталям для их дезинфекции.

Поставленная перед нами задача сконструирования распылителя для введения аэрозолей больным, дышащим с помощью аппаратов искусственного дыхания ДП-1 или ДП-2, предъявила иные требования.

Здесь необходимо было достичь минимального количества выходящего из прибора воздуха, чтобы избежать нарушения режима работы аппаратов искусственного дыхания. Скорость же распыления жидкости может быть меньшей, чем у обычных аэрозольных генераторов, так как дополнительный сеанс лечения никаких неудобств для больного не создает. Вся система должна быть герметичной относительно давления $\pm 100 \text{ мм}$ ртутного столба (давление в системе ДП-1 и ДП-2) и иметь два вывода для включения в тракт аппаратов искусственного дыхания.

В сконструированном нами приборе жидкость распыляется струей воздуха или кислорода. Применяются сопла системы Бергсона-Барковского. Заряд придается каплям методом электростатической индукции, причем жидкость заряжается при выходе из сопла.

Конструкция последнего образца прибора изображена на рис. 1. Все части распылителя прикреплены к стенкам коробки из органического стекла (7). Латунные сопла (9 и 13), конические трубки (8, 15) для вывода аэрозолей и включения распылителя в тракт прибора искусственного дыхания, трубка (12) для стока жидкости обратно в стакан прикреплены к стенкам коробки резьбой и контргайками. Передняя стенка коробки выполнена в виде отвинчиваемой крышки (19), обеспечивающей свободный доступ к горизонтальному соплу для его чистки в случае засорения и возможность дезинфицирования коробки. Латунная преграда (16) прикреплена к концу конической труб-

ки (15) резьбой. Она служит для разбрызгивания и осаждения больших капель.

Добавочный электрод (4) для создания электрического поля над отверстием сопла изолирован специальным изолятором-лабиринтом (6) защищающим от короткого замыкания через влажные поверхности. Напряжение на электрод и заземление подводятся к соплу через клеммы (18)

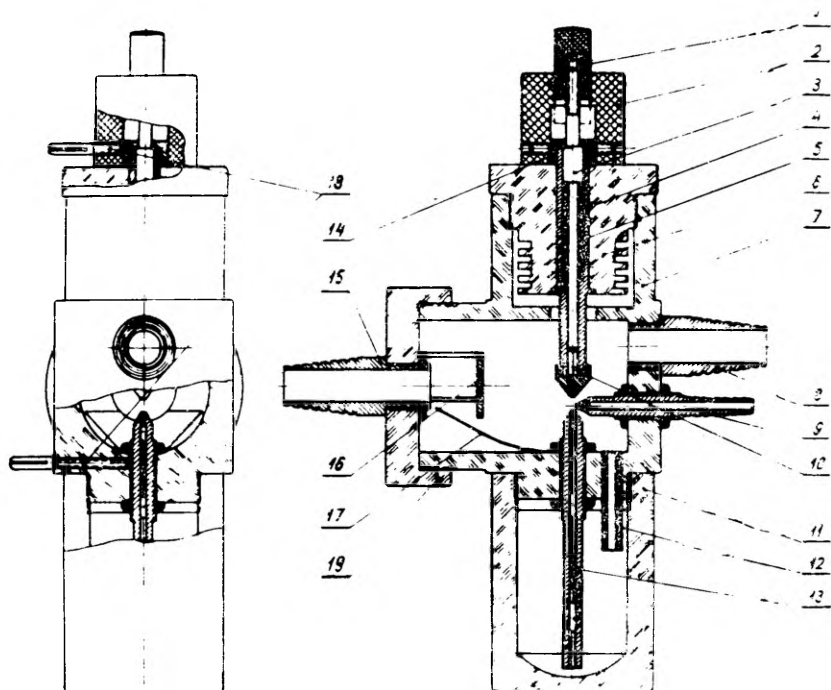


Рис. 1. Принципиальная схема распылителя.

В добавочный электрод вмонтирован механизм для прочистки вертикального сопла. Серебряная игла-прочистка (10) припаяна к латунному стержню (3) помещенному в продольный канал добавочного электрода. Игла и стержень фиксируются в верхнем положении пружиной (5) и контргайкой (14). Механизм прочистки изолирован эбонитовым колпаком (2) и кнопкой (1). Сопло прочищается нажатием на кнопку.

Конструкция распылителя удобна для производства, так как все детали выполняются точением, клейки и приклеплений винтами не имеется. Герметичность обеспечивается тщательной обработкой поверхностей.

Напряжение на добавочный электрод подается от выпрямителя, схема которого изображена на рис. 2. Схема удобна тем,

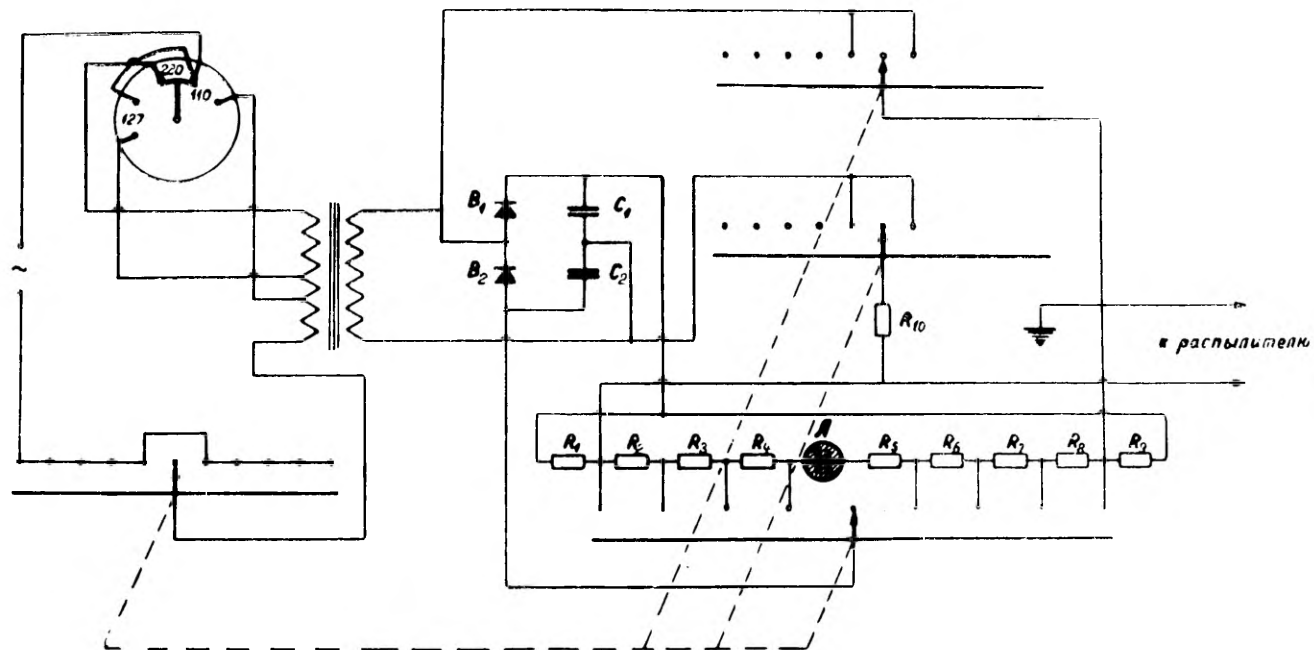


Рис. 2. Принципиальная схема выпрямителя.

что позволяет использовать один переключатель диапазонов для включения прибора в сеть, и переключения на выходе вида напряжения (переменное или постоянное) Выпрямитель дает 220 в переменного и $\pm (10 \div 500)$ в постоянного напряжения, регулируемого четырьмя ступенями.

Распылитель и выпрямитель устанавливаются на штативе (рис. 3). Резиновым шлангом к горизонтальному соплу подводится сжатый воздух (кислород) от компрессора или баллона. Может быть использован обычный медицинский компрессор АИ-1.

Штатив позволяет регулировать положение распылителя в трех взаимноперпендикулярных направлениях и тем самым обеспечивает доступ к больному в любых условиях.

В тракт аппаратов искусственного дыхания включают распылитель через конические трубки (8 и 15, рис. 1). Аэрозоли могут ингалироваться и теми больными, которые дышат самостоятельно, но трахеальная канюля не снята и больные еще не могут сидеть. Для этого выход из трубки (15) закрывают специальной пробкой, а на другой выход надевают шланг со специальным наконечником (рис. 4).

Прибор в основном удовлетворяет всем вышеперечисленным требованиям. Для нормальной работы прибору требуется давление порядка 1,5—2 ат (ниже приводятся все данные при давлении 2 ат).

В целях уменьшения количества выходящего из прибора воздуха выходное отверстие горизонтального сопла имеет минимальный диаметр — 0,35 мм. Скорость потока кислорода составляет 6 л/мин, при которой только незначительно укорачивается время вдоха и удлиняется время выдоха аппаратов искусственного дыхания.

Скорость распыления жидкости аппарата 1,2 см³ за 10 минут. Как уже было сказано, здесь допустима небольшая скорость распыления, так как сеанс ингалирования никаких особых неудобств больному не причиняет, а прибор способен работать длительное время.

Остаточное (нераспыляемое) количество жидкости — 0,5 см³ оседает в виде капель на стенках распылителя. На сферическом дне стакана остается незначительное количество жидкости.

Прибор легко разбирается для дезинфекции, следует лишь отвинтить крышку и стакан и промыть все поверхности эфиром или спиртом.

При данной конструкции не полностью решена задача регулировки размеров капель. Размер капель определяет место их осаждения в дыхательных путях. По имеющимся данным * при нейтральном аэрозоле в трахее осаждаются капли диаметром от 100 до 3 мк, в бронхах и бронхиолах — от 10 до 0,5 мк, а в альвеолах от 3 до 0,1 мк. При использовании данного прибора раз-

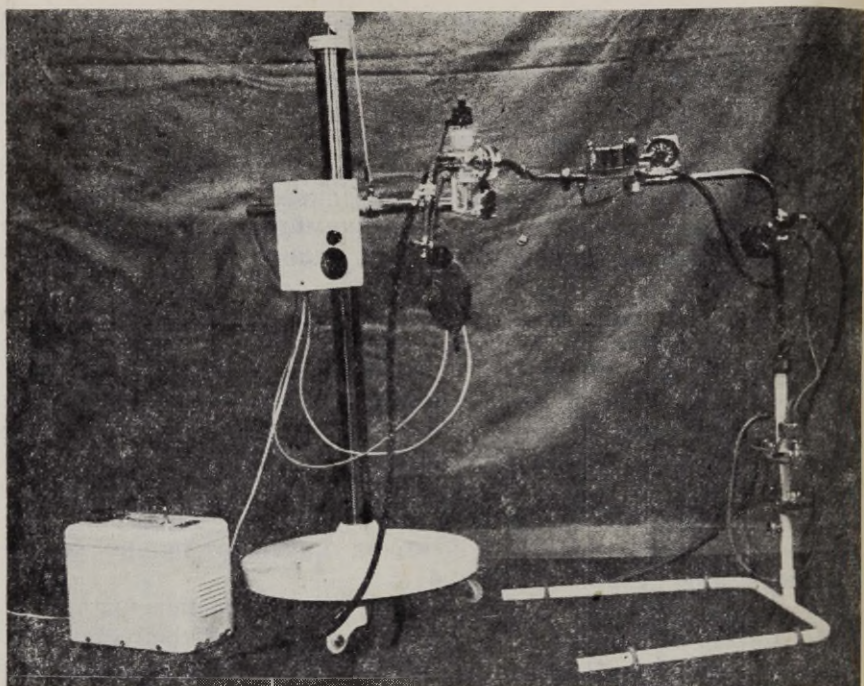


Рис. 3. Генератор электроаэрозолей вместе с прибором искусственного дыхания.

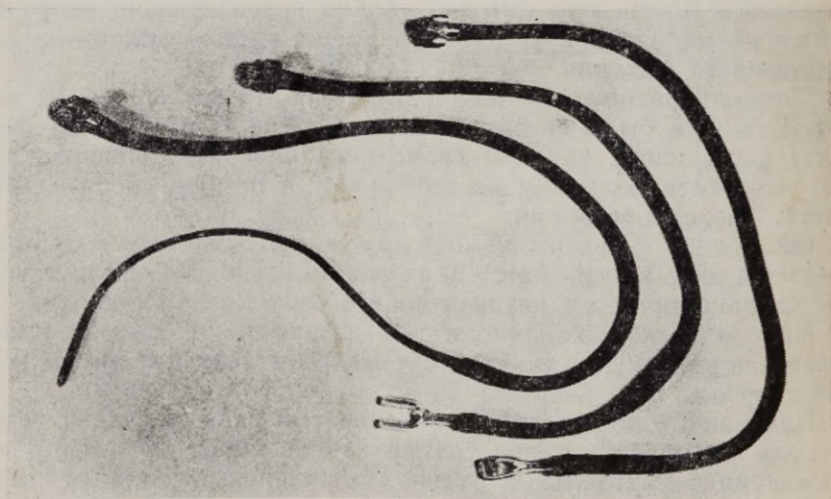


Рис. 4. Зонды для рта и носа и зонд для введения аэрозолей в легкие посредством трахеальных канюль.

меры капель зависят только от условий зарядки аэрозоля. 80% капель нейтрального аэрозоля, (полученные при нулевом потенциале добавочного электрода). находятся в пределах диаметра от 2 до 7 мк, а при униполярно заряженном аэрозоле (потенциал добавочного электрода ± 500 в) от 1 до 4 мк. Размеры капель определены путем микрофотографий инерционно осажденных капель. Следовательно, осаждать капли можно в бронхах и альвеолах. Но в последнем случае надо учитывать еще влияние униполярного заряда, которое способствует осаждению. Это влияние недостаточно изучено и нельзя потому точно определить, где осаждаются заряженные капли.

Опыт и теория показывают [13], что монодисперсные аэрозоли коагулируют медленно. Требованию монодисперсности хорошо удовлетворяют заряженные аэрозоли: 80% капель имеют диаметр 1—4 мк, средний по числу и средний весовой диаметр отличаются мало (2,6 мк и 3,0 мк) Эти же данные для незаряженных аэрозолей: 80% — 2—7 мк, средние 4,9 мк и 5,4 мк.

Прибор достаточно хорошо удовлетворяет и требованиям, предъявляемым гидроионизаторам. В зависимости от потенциала добавочного электрода получаются биполярные или униполярные аэрозоли. При постоянном потенциале из сопла поступают вполне униполярные аэрозоли, но на преграде (16, рис. 1) происходит перезарядка капель. В результате коэффициент униполярности ухудшается. В табл. 1 приведены коэффициенты униполярности и конвективные токи, выходящие из прибора при различных условиях зарядки.

Прибор успешно применяется с 1958 года в Респираторном центре Тартуской республиканской клинической больницы. По данным Э. И. Раудама [14, 15, 16] и др., электроаэрозоли сильно уменьшают число легочных осложнений у тяжелых больных.

Наконец, на базе тех же деталей можно сконструировать индивидуальный ингаляционный прибор общего назначения, т. е. прибор для ингаляции аэрозолей через рот и нос, удовлетворяющий вышеперечисленным требованиям относительно скорости распыления жидкости и потока кислорода, что имеет важное значение при массовой продукции.

* Ultraschall-Raumaerosolgerät «TUR» US11. Prospektmaterial. Dresden 1960.

Таблица 1

Напряжение на добавочном электроде	Суммарный ток (эл. зар./сек)	Коэффициент униполярности
-500	$+1,6 \cdot 10^{10}$	3,5
-100	$+0,6 \cdot 10^{10}$	2,2
-50	$+0,5 \cdot 10^{10}$	2,0
-10	$+0,2 \cdot 10^{10}$	1,3
+10	$-0,15 \cdot 10^{10}$	0,77
+50	$-0,5 \cdot 10^{10}$	0,5
+100	$-0,7 \cdot 10^{10}$	0,45
+500	$-1,6 \cdot 10^{10}$	0,29
Переменное ¹ (~ 220 в)	$-1,0 \cdot 10^{10} + 1,3 \cdot 10^{10}$	1,3
Нуль ²	$-1,5 \cdot 10^{10} + 0,5 \cdot 10^{10}$	1,0

¹ Биполярные аэрозоли.² Нейтральные аэрозоли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елкин И. И., Эйдельштейн С. И., Аэрозоли антибиотиков, их получение и клиническое применение, Москва, 1955.
2. Böhlau, V., Böhlau, E., Die Inhalationsbehandlung mit Aerosolen, Leipzig 1958.
3. Nücker, H., Aerosol-Therapie, Stuttgart 1957.
4. Cauer, H., Staub 1955, 33, 293.
5. Köhler, E., Beiträge zur Klinik der Tuberkulose, 1956, 116, 21.
6. Engels, A., Schulz, K., Strahlentherapie, 1956, 99/4, 624.
7. Bisa, K., Zschr. für Aerosol-Forschung und -Therapie, 1954, 1, 39.
8. Bisa, K., Weidemann, I., Zschr. für Aerosol-Forschung und -Therapie, 1955, 3, 220.
9. Cauer, H., Zschr. für Aerosol-Forschung und -Therapie, 1958, 3, 224.
10. Cauer, H., Zschr. für Aerosol-Forschung und -Therapie, 1955, 2, 147.
11. Engels, A., Liese, E., Archiv Physik. Therapie, 1954, 6, 4.
12. Gordieyeff, V. A., Arch. Industr. Health, 1956, 14/5, 471.
13. Фукс Н. А., Механика аэрозолей, Москва, 1955.
14. Раудам Э., Рейнет Я., Тикк А., Вельди А., Научная конференция медицинского факультета Тартуского гос. университета 1959 г. Тезисы докладов, Тарту, 1959, стр. 7—8 (на эстонском языке).
15. Раудам Э. И., Рейнет Я. Ю., Всесоюзная конференция по аэро- и гидроаэрононизации. Тезисы докладов. Медгиз УзССР Ташкент, 1960, стр. 106—107.
16. Раудам Э. И., Рейнет Я. Ю., Тикк А. А., Вельди А. Г. и Тамм Э. И., Журнал невропатологии и психиатрии имени С. С. Корсакова, 1960, IX, 11 стр. 1428—1434.

ELEKTROAEROSOOLIDE GENERAATOR KUNSTLIKU HINGAMISE APARAATIDELE

J. Reinet, E. Tamm ja A. Susi

R e s ü m e e

On välja töötatud universaalne aerosoolide ja elektroaerosoolide generaator, mida aerosool- ja elektroaerosoolteraapias kasutatakse lamavate raskete haigete ravimisel kui ka profülaktikas.

Pihustatud medikament inhaleeritakse kas suu- või ninasondi või kunstliku hingamise aparaatide abil kõrikanüüli kaudu.

A GENERATOR OF ELECTROAEROSOLS FOR ARTIFICIAL BREATHING APPARATUS

J. Reinet, E. Tamm and A. Susi

S u m m a r y

The authors have constructed a general-purpose generator of aerosols and electroaerosols which is used in aerosol and electro-aerosol therapy in the treatment of recumbent severe cases as well as in prophylaxis.

The sprayed drug is inhaled through a mouth or nose sound or by means of artificial breathing apparatus through the throat-tubule.

ИНДУКЦИОННАЯ ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ПРИ РАСПЫЛЕНИИ ЖИДКОСТЕЙ

Х. Ф. Таммет

Изучается механизм индукционной электризации капелек тумана при распылении проводящих жидкостей. Выводятся формулы заряда и электрической подвижности капелек. Изучается возможность применения индукционной электризации для исследования распределения капелек по размерам электрическими методами.

Известно, что при распылении проводящей жидкости туман всегда самопроизвольно электризуется, что называется балло-электрическим эффектом. Но при самопроизвольной зарядке возникающие заряды капелек сравнительно малы и, кроме того, таким образом не удастся получить униполярной зарядки.

Существует известная возможность зарядки капелек тумана путем электростатической индукции непосредственно в процессе распыления. Последний способ довольно простой и позволяет достичь больших зарядов капелек.

Механизм индукционной электризации капелек

Исследуем распыление жидкости с поверхности, над которой создано перпендикулярное электрическое поле со средней напряженностью E . Эта поверхность может быть поверхностью жидкости на сопле распылителя. Электрическое поле индуцирует на поверхности жидкости поверхностные заряды средней плотности

$$\sigma = \frac{E - \epsilon E_1}{4\pi}, \quad (1)$$

где E_1 — напряженность поля в жидкости и ϵ — диэлектрическая проницаемость жидкости.

При отделении от поверхности капельки на последней остается заряд q , пропорциональный средней плотности поверхностного заряда σ и площади капельки S , что выражается соотношением

$$q = \gamma \sigma S. \quad (2)$$

Безразмерный множитель γ интерпретируется как отношение оторванной капелькой площади поверхности к площади капельки, умноженное на отношение плотности поверхностного заряда на выпуклости перед отрыванием капельки к средней плотности поверхностного заряда. В действительности множитель γ является стохастической величиной, но с целью большей наглядности результатов и упрощения выводов полагаем в дальнейшем, что γ является постоянной распылительного процесса. Точность этого приближения должна определяться дальнейшими экспериментальными исследованиями. По ориентировочным экспериментам у большинства распылителей значение γ достигает приближенно единицы.

Из выражений (1) и (2) получаем

$$q = \gamma(E - \varepsilon E_1)r^2, \quad (3)$$

где r — радиус капельки.

Напряженность E_1 вычисляется при помощи закона Ома

$$E_1 = j \varrho,$$

где j — плотность тока в жидкости и ϱ — удельное сопротивление жидкости.

Суммируя заряды капелек, возникающих в единицу времени, получаем уравнение тока J , обусловленного отводом заряда капельками от рассматриваемой поверхности:

$$J = \gamma \left(E - \frac{\varrho \varepsilon J}{S} \right) \sum_{i=1}^n r_i^2, \quad (4)$$

где S — площадь поверхности жидкости, с которой происходит распыление, и n — число капелек, вырванных в единицу времени. Решение этого уравнения даем в следующей форме:

$$\left. \begin{aligned} J &= J_0 \beta \\ J_0 &= \frac{3\gamma\Phi E}{4\pi\alpha r_0} \\ \beta &= \frac{1}{1 + \frac{J_0 \varrho \varepsilon}{SE}} \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

Здесь Φ обозначает объемную скорость распыления жидкости, r_0 — среднеквадратичный радиус капелек и α — отношение кубов среднекубического и среднеквадратичного радиуса капелек.

Будем называть жидкость хорошо проводящей, если

$$\varepsilon \varrho \ll \frac{\pi \alpha r_0 S}{3\gamma\Phi}$$

В этом случае $J \simeq J_0$.

Плохо проводящей будем называть жидкость, у которой

$$\epsilon \rho \gg \frac{4\pi a r_0 S}{3\gamma \Phi}$$

В последнем случае

$$J \simeq \frac{SE}{\rho \epsilon} \quad (6)$$

У плохо проводящих жидкостей ток J почти не зависит от скорости распыления и от распределения радиусов капелек.

Применяя формулы (3) и (5), можем получить выражение заряда отдельной капельки

$$q = \gamma E r^2 \beta. \quad (7)$$

Используя закон Стокса, получаем выражение электрической подвижности капельки

$$k = \frac{\gamma E r \beta}{6\pi \eta}, \quad (8)$$

где η — динамическая постоянная внутреннего трения воздуха. Интересно обратить внимание на то, что подвижность зависит от радиуса капельки прямопропорционально.

Из полученных результатов можно вывести еще функцию распределения тока по подвижностям

$$J(k) = \frac{dJ}{dk},$$

где dJ — ток, вызванный капельками с подвижностями от k до $k + dk$

$$J\left(\frac{\gamma E r \beta}{6\pi \eta}\right) = 6\pi \eta r^2 f(r), \quad (9)$$

где $f(r)$ — функция распределения числа капелек, распыленных в единицу времени, по радиусам.

Точность всех приведенных результатов наибольшая при средних зарядах капелек. При малых зарядах неточность обуславливается баллоэлектрическим эффектом, при больших зарядах — нестабильностью заряда высокозаряженных капелек.

При распылении водных растворов распылителем Бергсона-Барковского формулы (5) оправдывались хорошо при напряженностях поля от десятков до тысяч в/см. Формулы (7), (8) и (9) требуют еще дальнейшей экспериментальной проверки, которая должна определить пределы их применимости и указать путь уточнения теории.

О применении индукционной электризации

Индукционная электризация туманов применялась несколькими авторами в различных целях. Наиболее известны результаты Буркхардта [1], который применил индукционную электризацию в специальном генераторе высокого напряжения.

По предложению автора индукционная электризация тумана использовалась в ингалятор-ионизаторе, кислородном аэрозоль-ионизаторе [2] и аэрозоль-ионизаторе [3], предназначенных для применения в медицинских целях. Эти приборы генерируют при сравнительно малой скорости распыления (до 0,1 мл/сек) ток до 10^{12} элементарных зарядов в секунду. Среднее отношение заряда и массы капелек может при этом достигать $2 \cdot 10^4$ CGSE.

Индукционная электризация позволяет получить вполне униполярно заряженный туман с регулируемой степенью зарядки. При помощи переменного электрического поля осуществляется и биполярная индукционная зарядка тумана.

При сильной униполярной зарядке тумана наблюдается заметное уменьшение среднего размера капелек. Кроме известных причин этого явления, следует обратить внимание еще на то, что сильная униполярная зарядка уменьшает ортокинетиическую коагуляцию у сопла, влияние которой на размер капелек у незаряженного тумана может быть довольно большое [4].

Представляет интерес использование индукционной зарядки высокодисперсного тумана для изучения распределения капелек по радиусам электрическими методами. Для вывода требуемых соотношений применяем формулы (8) и (9), из которых получается

$$f\left(\frac{6\pi\eta k}{\gamma E\beta}\right) = \frac{(\gamma E\beta)^2}{(6\pi\eta)^3} \frac{J(k)}{k^2}$$

Используя то, что функция распределения плотности заряда по подвижностям $q(k)$ вблизи распылителя пропорциональна функции $J(k)$, можем написать

$$f\left(\frac{6\pi\eta k}{\gamma E\beta}\right) \sim \frac{q(k)}{k^2} \quad (10)$$

Функция $q(k)$ определяется экспериментально известными методами исследования ионизации воздуха. Затруднение может вызвать определение величины $\gamma E\beta$. Наиболее точный результат получается следующим путем. При помощи близкорасположенного к распылителю коллектора измеряется ток J и скорость распыления Φ . Теперь имеем

$$\gamma E\beta = \frac{4\pi a r_0 J}{3\Phi}$$

В последнем выражении α_0 определяется следующим образом

$$\alpha_0 = \frac{6\pi\eta}{\gamma E\beta} \frac{\int k_Q(k) dk}{\int Q(k) dk}$$

Окончательной подстановкой получается

$$\gamma E\beta = 2\pi \sqrt{\frac{2J\eta}{\Phi} \frac{\int k_Q(k) dk}{\int Q(k) dk}} \quad (11)$$

Применение может найти еще из полученных результатов легко выводимое выражение среднего радиуса капелек

$$\bar{r} = 3 \frac{\int \frac{1}{k} Q(k) dk}{\int \frac{1}{k^2} Q(k) dk} \sqrt{\frac{\eta\Phi}{2J} \frac{\int Q(k) dk}{\int k_Q(k) dk}} \quad (12)$$

Заключение

Электризация тумана путем электростатической индукции является простым, универсальным и эффективным методом для получения заряженного тумана проводящих жидкостей. Индукционная электризация позволяет создать как униполярно, так и биполярно заряженный туман, причем степень зарядки регулируется.

Теоретическое рассмотрение индукционного механизма электризации капелек позволяет вывести формулы для суммарного тока, заряда и подвижности капелек, а также функции распределения заряда по подвижностям. Некоторые из этих формул подтверждены экспериментальной проверкой.

Так как заряды и подвижности капелек зависят известным образом от радиуса, имеется возможность применения индукционной электризации для исследования распределения капелек по размеру электрическими методами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Burkhardt, E., Annalen der Physik, 1935, 23.
2. Рейнет, Я. Ю., Таммет, Х. Ф., Бюллетень изобретений, 1959, № 21.
3. Прюллер, П. К., Вопросы курортологии V, Рига, 1959.
4. Дунский, В. Ф., Сб. «Аэрозоли в сельском хозяйстве», Москва, 1956.

INDUKTSIOONELEKTRISEERIMINE VEDELIKE PIHUSTAMISEL

H. Tammet

Resümee

Induktsioonelektriseerimine võimaldab vedelike pihustamisel tekkivat aerosooli laadida vajaduse järgi nii negatiivselt, positiivselt kui ka bipolaarselt. Selle meetodiga saavutatavad tilgakeste laengud on märksa suuremad kui balloelektrilisest efektist tingitud spontaansel elektriseerumisel.

Aerosoolitilgakeste laenguid ning elektrilisi liikuvusi saab induktsioonelektriseerimise korral teoreetiliselt arvutada, mis võimaldab tuletada tilgade laadimise voolu valemid (5). On tuletatud seos tilgade liikuvuste järgi võetud jaotusfunktsiooni $I(k)$ ning raadiuste järgi võetud jaotusfunktsiooni $f(r)$ vahel (9). Kui kasutatud lähenduste täpsus on eksperimentaalselt kontrollitud, saab nimetatud seosest tuletatud valemid (10) ja (11) praktiliselt rakendada jaotusfunktsiooni $f(r)$ leidmiseks, sest $I(k)$ määramine on sageli lihtsam kui raadiuste järgi võetud jaotusfunktsiooni vahetu eksperimentaalne määramine.

INDUCTION-ELECTRIZATION IN THE ATOMIZATION OF LIQUIDS

H. Tammet

Summary

Induction-electrization permits aerosol, created by the atomization of liquids, to charge either negatively or positively or even bipolarly if necessary. Charges of the drops received thus are larger than the charges caused by the balloelectric effect in spontaneous electrization.

In this case of induction-electrization it is possible to compute theoretically charges of the aerosol drops and the electrical mobilities. This enables us to deduce the formulae (5) for the drops charging current. The relation between the distribution function of the mobility of drops, $I(k)$, and the distribution function, taken over the radii, $f(r)$, is derived (F 9). When the approximations used are checked with the experimental data the formulae (10) and (11) derived from the relation (9) for calculation of the distribution function $f(r)$, because it is often simpler to establish $I(k)$ in comparison with $f(r)$.

ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ

В. Я. Карк, Э. Э. Пауксон и Я. Ю. Рейнет

В настоящее время электрически униполярно заряженные аэрозоли вытесняют в ингаляционной терапии обычные аэрозоли [1, 2, 3, 4]. Это обусловлено тем, что обычные мельчайшие аэрозоли имеют биполярный заряд, вследствие чего разноименно заряженные частицы под действием электростатических сил легко коагулируют, масса их становится больше, а при одинаковых зарядах объединившихся частиц они становятся нейтральными. Под действием электроиндукционных сил с этими нейтральными капельками легко соединяются заряженные частицы аэрозоля. Поэтому частицы обычного аэрозоля становятся неоднородными по своей величине. Крупные частицы в гравитационном поле земли оседают, из-за чего обычные аэрозоли непригодны для медицинских аэрозольных камер. Поэтому в последнее время в групповой ингаляционной терапии, в профилактических и лечебных целях, начинают применять только электроаэрозоли.

Большим преимуществом электроаэрозолей по сравнению с обычными аэрозолями является их изодисперсность, стабильность и равномерное распространение в пространстве под действием электростатических сил [5, 6, 7].

Кроме того, некоторые исследователи показали, что по сравнению с обычными аэрозолями электроаэрозоли в большей мере осаждаются в легочных альвеолах [8, 9, 10, 11]. Поэтому электроаэрозольтерапия является сейчас доминирующим лечебным и профилактическим методом при лечении таких распространенных профессиональных заболеваний как силикоз и пр. [12, 13].

Применение в медицине при ингаляции униполярно заряженных аэрозолей объединяет аэрозольтерапию с аэроионотерапией [14, 15, 16, 17, 18].

Поэтому понятно, почему в санаториях, особенно в санаториях легочных заболеваний, обращают большое внимание на электроаэрозольтерапию [19].

Многие западноевропейские фирмы («Ziems & Co» и др.)

разослали свои аппараты для групповой аэрозольтерапии в ряд стран. Их начали применять и в СССР при лечении силикоза (в Перми, Ростове-на-Дону и т. д.) Эти электроаэрозольаппараты — громоздкие устройства с дорогостоящей конструкцией и опасные в применении, так как распыляющее сопло их находится под высоким напряжением (около 100 кв). Кроме того, пациент находится во время процедуры в сильном электрическом поле.

В последнее время установлено, что обычные аэрозоли, получаемые ультразвуковым распылением, очень однородны и имеют большую плотность, чем аэрозоли, получаемые сопловыми и центробежными распылителями [20, 21].

Поэтому в климатических камерах лучше всего использовать мельчайшие аэрозоли, создаваемые ультразвуком. Стабильность этих аэрозолей можно повысить, лишь сообщая им униполярный заряд (отрицательный или положительный), т. е. создавая электроаэрозоль.

Кроме того, здесь можно, изменяя частоту ультразвука, изменять величину аэрозоля. Плотность получаемых аэрозолей (тумана) в десятки раз больше, чем аэрозолей, получаемых другими методами [3, 12, 13, 22, 23, 24, 25, 26, 27], при этом энергия, затрачиваемая на получение тумана, почти в десять раз меньше затрачиваемой другими распылителями.

Многочисленные опыты также подтверждают, что ультразвук не разрушает молекул лекарственных веществ, вследствие чего туман (аэрозоль) ничем не отличается от раствора медикамента [28].

Хотя аэрозоль, получаемый ультразвуковым распылением, имеет в ингаляционной терапии большие преимущества по сравнению с аэрозолями, полученными другими методами, в известной авторам настоящей статьи научной литературе до сих пор не было данных о возможности сообщения этому аэрозолю униполярного заряда.

Правда, в литературе имеются ошибочные указания о преобладании отрицательно заряженных частиц в аэрозоле, получаемом ультразвуковым распылением [21]. Это объясняется тем, что обычный баллоэлектрический эффект обуславливает и здесь некоторое преобладание отрицательного заряда мелких частиц аэрозоля, тогда как более крупные капельки заряжены положительно. Если же распыление водных растворов происходит таким образом, что возникает изодисперсный аэрозоль, то плотности отрицательного и положительного заряда в таком аэрозоле одинаковы.

Учитывая преимущества аэрозолей, получаемых ультразвуковым распылением, авторы настоящей статьи разработали способ получения электроаэрозоля в аэрозольных камерах с ультразвуковым распылением для групповой ингаляции.

Аппаратура

Примененный в данной работе ультразвуковой генератор создает аэрозоли с жидкой дисперсной фазой в воздухе.

В качестве излучателя применяется пластинка из титаната бария диаметром 22 мм, между металлизированными обкладками которой создается переменное электрическое поле. Под действием этого поля пластинка излучает в окружающую среду ультразвуковые колебания. Для получения интенсивных колебаний используется механический резонанс пластинки.

Пластинка из титаната бария вставлена в специальный держатель (рис. 1), над которым расположен широкий сосуд из органического стекла с распыляемой жидкостью (рис. 2). Для фокусировки ультразвуковых колебаний применена линза из органического стекла. Для улучшения акустического контакта пространство между пластинкой и линзой заполняется вазелиновым маслом.

Переменное напряжение на пластинку подается от двухтактного лампового генератора (две лампы 6ПЗС), частоту которого можно изменять от 1 до 5 Мгц.

При конструировании генератора и держателя кристалла использовалось описание демонстрационной ультразвуковой установки Краснюка [29].

В ходе испытаний установки выяснилось, что ультразвук с частотой 1,4 Мгц и интенсивностью на поверхности жидкости около 200 вт/см^2 выбрасывает из жидкости (коэффициент поверхностного натяжения которой близок к коэффициенту поверхностного натяжения воды) фонтан высотой 40–50 см. При этом наблюдается выделение из жидкости плотного тумана (рис. 3).

Получаемые аэрозоли имеют биполярный заряд, причем на расстоянии 25 см от фонтана концентрация отрицательных и положительных зарядов одинакова, около 10^5 е/см^3 ($e = 4,803 \cdot 10^{-10} \text{ СГСЭ}$).

Поместив вблизи фонтана индуцирующий электрод, можно получить почти униполярно заряженные аэрозоли. Подавая на индуцирующий электрод, помещенный на расстоянии 1 см от фонтана, $\pm 800 \text{ в}$ (отрицательный электрод погружен в распыляемую жидкость), получали отрицательно заряженный аэрозоль с концентрацией около $5 \cdot 10^5 \text{ е/см}^3$.

При подаче на индуцирующий электрод отрицательного заряда получают положительно заряженные аэрозоли с концентрацией того же порядка.

Создавая при помощи вентилятора в непосредственной близости от индуцирующего электрода воздушный поток, можно увеличить плотность заряда до $3 \cdot 10^6 \text{ е/см}^3$. При этом концен-

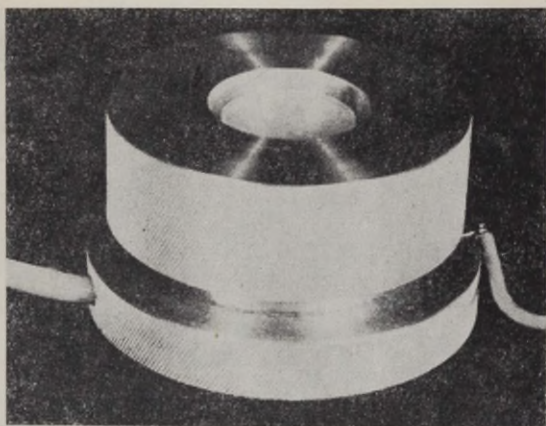


Рис. 1. Пластика из титаната бария вставлена в специальный держатель.

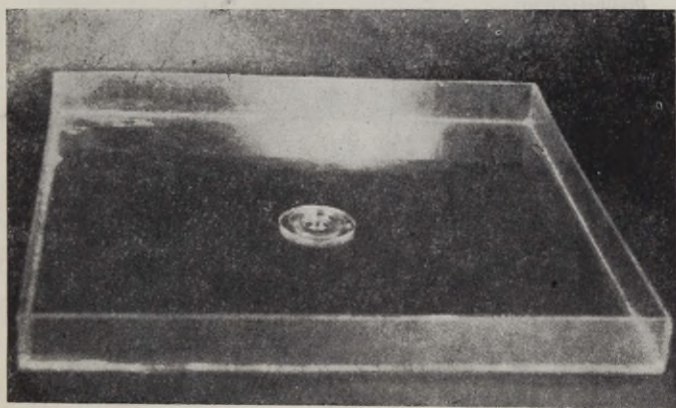


Рис. 2. Сосуд из органического стекла с распыляемой жидкостью.

трации разноименных зарядов имеют отношение 1 : 60, что практически дает униполярный туман (аэрозоль).

Изменяя направление электрического поля, можно создавать электроаэрозоли с зарядом любого знака.

Выводы

- 1) Выявлено, что ультразвуковое распыление дает биполярные аэрозоли.
- 2) Выявлено, что применение при ультразвуковом распыле-

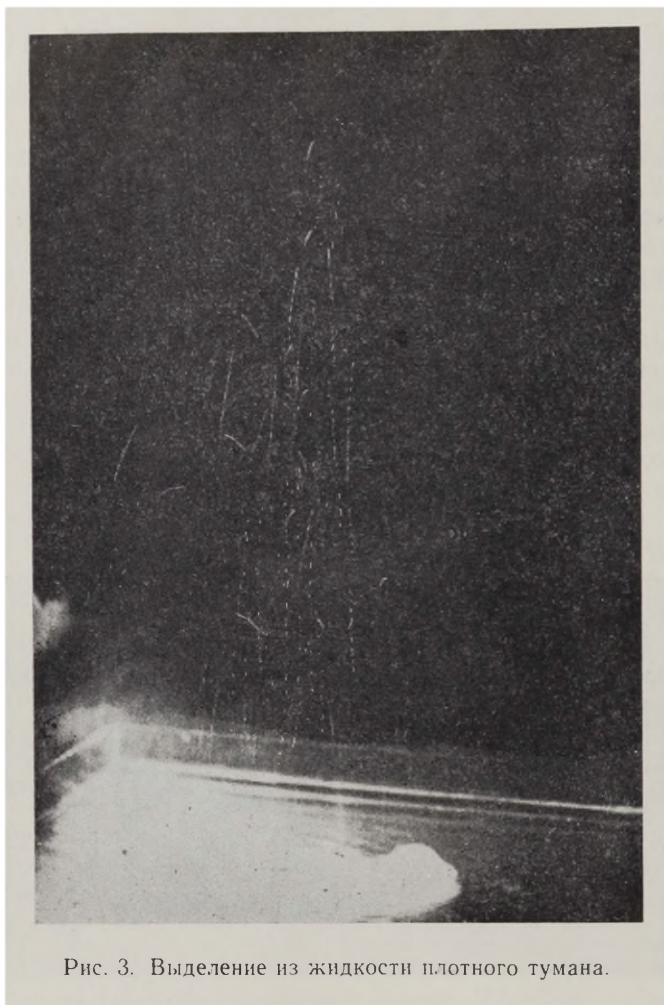


Рис. 3. Выделение из жидкости плотного тумана.

нии индуцирующего электрода позволяет получать униполярные электроаэрозоли любого знака.

3) Примененная установка может быть применена с большим успехом при групповой ингаляционной терапии униполярными аэрозолями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Engels, A. und Schultz, K. H., Strahlentherapie, 1956, **99**, H. 4, S. 1—4.
2. Niemöller, H. K., Deutsche Medizinische Wochenschrift, 1957, **62**, Nr. 18.
3. Bisa, K. und Weidemann, J., Zschr. Aerosol-Forsch., 1955, **4**, 220.
4. Cauer, H., Zschr. Aerosol-Forsch., 1953, **2**, 569.
5. Фукс, К. А., Механика аэрозолей, Москва, 1955.
6. Böhlau, V., Böhlau, E., Die Inhalationsbehandlung mit Aerosolen, Leipzig 1958.
7. Nüchel, H., Aerosol-Therapie, Stuttgart 1957.
8. Engels, A. und Liese, E., Arch. phys. Therap. 1954, **6**.
9. Köhler, E., Beiträge zur Klinik der Tuberkulose, 1956, Bd. 116, S. 21—27.
10. Cauer, H., Staub, 1955, **33**, 293.
11. Engels, A. und Schultz, K. H., Rheumaforschung, 1955, 9/10, 14.
12. Cauer, H., Zschr. Aerosol-Forschung und -Therapie, 1955, **2**, 147; 1955, **4**, 344, 1958, **3**, 224.
13. Bisa, K., Zschr. Aerosol-Forschung und -Therapie, 1953, **2**, 286; 1954, **1**, 39.
14. Васильев Л. Л., Теория и практика лечения ионизированным воздухом. Л., 1953.
15. Минх А. А., Ионизация воздуха и ее гигиеническое значение, М., 1958.
16. Портнов Ф. Г., Аэроны и их лечебное применение. Рига, 1961.
17. Edström, G., Studies in natural and artificial atmospheric electric ions, Lund 1935.
18. Schmid, A., Biologische Wirkungen der Luft-Elektrizität mit Berücksichtigung der künstlichen Ionisierung, Bern-Leipzig 1936.
19. Goldieyeff, V. A., Arch. Industr. Health, 1956, **14**, 471.
20. Bisa, K., Dirnagl, K., Esche, R., Ultraschall, 1955, **8**, Nr. 3.
21. Ливенсон А. Р., Материалы по обмену опытом и научными достижениями. Министерство Здравоохранения СССР, Москва, 1958, **5** (30).
22. Küster, E., Dittmar, C., Zschr. für Krebsforschung 1940, **50/6**, 457.
23. Rooth, G., Inhalation of liquid aerosols. Acta Medica Scandinavica, Supplementum 228, Lund 1949.
24. Kähler, K., Beiträge zur Klinik der Tuberkulose, 1937, **89/3**, 311.
25. Wassielewski, E., Gillissen, G., Hemstedt, R., Genth, W., Zschr. Aerosol-Forschung und -Therapie, 1955, **1**, 18.
26. Klumb, H., Schütz, A., Zschr. Aerosol-Forschung und -Therapie, 1957, **1**, 40.
27. Burkhardt, E., Annalen der Physik, 1935, **23**, 339.
28. Streibl, F., Zs. Phys. Therap. 1950, **3**, 132.
29. Краснюк В., Радио, 1961, **2**, 33.

ELEKTROAEROSOOOLIDE SAAMINE PIHUSTAMISEL ULTRAHELIGA

V. Kark, E. Paukson ja J. Reinet

Resümee

On kindlaks tehtud, et vee pihustamisel ultraheli abil tekib õhus bipolaarselt laetud aerosool.

Asetades ultraheli abil tekitatud fontääni ümber pingestatud elektroodi ja viies teise elektroodi pihustatavasse vedelikku, võime

tekitada elektrostaatilise induktsiooni meetodil unipolaarselt laetud elektroaerosoole.

Seadeldisel on suuri eeliseid võrreldes senituntud elektroaerosoolide generaatoritega inhalatsiooniteraapias, kliimakambrites jne.

GENERATION OF ELECTROAEROSOLS BY ULTRASOUND

V. Kark, E. Paukson and J. Reinet

S u m m a r y

It has been established that when water is sprayed by the ultrasound, there arise aerosols in the air which have a bipolar charge.

By placing an electrode with a high voltage round the fountain produced by the ultrasound and by inserting another electrode in the liquid to be sprayed, it is possible to produce unipolarly charged electroaerosols by the electrostatic method.

This device is greatly superior to the hitherto known generator of electroaerosols which is used in inhalation therapy, climatic chambers, etc.

УДАЛЕНИЕ ИОНОВ ОТ АЭРОИОНИЗАТОРОВ

Х. Ф. Таммет

Вопросы генерации аэроионов изучены довольно подробно, и получение ионных токов, достаточных для медицинских целей, не представляет особых затруднений. Конструирование аэроионизаторов нередко усложняется тем, что довольно большие затруднения вызывает удаление достаточного количества ионов от аэроионизатора и направление их в ионизируемое пространство. Разрешение последней проблемы определяет в большой степени качества аэроионизаторов всех типов. Настоящая статья посвящена изучению некоторых общих вопросов удаления ионов от аэроионизатора. Выводы могут быть использованы при решении указанной проблемы в конкретных случаях.

Механизм распространения ионов

Распространение ионов обуславливается тремя факторами: движением воздуха, тепловой диффузией и электрическими силами.

Рекомбинацией и изменением подвижности ионов будем в дальнейшем пренебрегать. Это оправдывается тем, что мы будем иметь дело преимущественно с униполярной ионизацией и рассматриваем движение ионов за короткий промежуток времени.

Влияние тепловой диффузии на удаление ионов от ионизатора незначительно, так как скорость диффузии при встречающихся градиентах концентрации ионов крайне мала по сравнению со скоростью распространения ионов под действием остальных факторов. Максимальную скорость диффузии можно оценить по среднему значению случайного смещения иона тепловым движением в сторону одной из координатных осей за время t (сек):

$$|\overline{\Delta x}| = 0,0105 \sqrt{kTt} \text{ (см)}, \quad (1)$$

где T — абсолютная температура (K°) и k — подвижность ионов $\left(\frac{\text{см}^2}{\text{в.сек}}\right)$

Рассмотрим движение ионов в потоке воздуха и в электрическом поле. Обозначим скорость иона через \vec{v} , которая выражается следующим образом:

$$\vec{v} = \vec{u} + k\vec{E},$$

где \vec{u} — вектор скорости воздушного потока, k — подвижность иона и E — напряженность электрического поля. Предположим, что в изучаемой части пространства можно пренебречь возникновением, рекомбинацией и присоединением ионов, а также сжимаемостью воздуха. Исходя из закона сохранения заряда, напомним для концентрации ионов n соотношение

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\operatorname{div}(n\vec{v}) = -\vec{v} \operatorname{grad} n - n \operatorname{div} \vec{v}$$

Рассмотрим точку, которая движется со скоростью \vec{v} и описывает траекторию иона. Полная производная плотности ионов в подвижной точке выражается

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\partial n}{\partial t} + \vec{v} \operatorname{grad} n.$$

Отсюда получается соотношение

$$\frac{dn}{dt} = -n \operatorname{div} \vec{v}.$$

Так как дивергенция поля скоростей воздушного потока равняется нулю, то

$$\frac{dn}{dt} = -4\pi k n \rho. \quad (2)$$

При униполярной ионизации это выражение преобразуется следующим образом:

$$\frac{dn}{dt} = -4\pi k n^2 \varepsilon, \quad (3)$$

где ε — элементарный заряд.

Из формулы (2) вытекает важное заключение о том, что при возможности пренебрежения электрическим полем объемного заряда концентрация ионов на траектории движения иона является постоянной величиной.

Электрическое поле объемного заряда вызывает уменьшение концентрации ионов, одноименных с объемным зарядом. Это явление, называемое электростатическим рассеиванием, обуславливает известную нестабильность сильной униполярной ионизации воздуха после выключения ионизатора. Наглядно выражает скорость электростатического рассеивания время τ , в течение которого концентрация ионов уменьшается до половины первоначальной концентрации. В случае униполярной ионизации

$$\tau = \frac{1}{4\pi k n e} \simeq \frac{550\,000}{k n} \text{ (сек)}, \quad (4)$$

где k должно измеряться в $\frac{\text{см}^2}{\text{в.сек}}$ и n в $\frac{1}{\text{см}^3}$. Легко показать, что для поддержания в помещении объемом V в случае униполярной ионизации концентрации ионов на постоянном уровне n требуется от ионизаторов ионный ток не менее, чем

$$J = 4\pi V k n^2 e^2 \simeq 2,9 \cdot 10^{-19} V k n^2 \text{ (а)}, \quad (5)$$

где V должно измеряться в м^3 , k в $\frac{\text{см}^2}{\text{в.сек}}$ и n в $\frac{1}{\text{см}^3}$.

По формуле (5) можно приближенно оценить минимальную ионизационную мощность ионизаторов, необходимых для ионификации разных помещений.

Удаление ионов от аэроионизатора электрическим полем

Удаление ионов от ионизаторов электрическим полем является весьма удобным, так как это позволяет обойтись без вентилятора. Рассмотрим ниже крайние случаи, представляющие наибольший интерес.

В первом случае пусть ионизация будет настолько мала, что полями объемных зарядов можно было бы пренебречь. Тогда расчеты окажутся крайне простыми, так как концентрация ионов на силовых линиях поля будет постоянной. Если все точки исследуемого пространства охвачены силовыми линиями, пересекающими эмиттер ионов, и эмиттер генерирует ионы однородной концентрации на всей поверхности, то концентрация ионов во всем исследуемом пространстве будет постоянной. Концентрация ионов выражается формулой

$$n = \frac{N}{4\pi C \phi k}, \quad (6)$$

где N — количество ионов, генерируемых эмиттером в единицу времени, C — электростатическая емкость действующей части эмиттера и ϕ — напряжение эмиттера. Условия, при которых вышеизложенный механизм удаления ионов можно было бы рас-

смаатривать достаточно хорошим приближением, встречаются в практике очень редко.

Значительно большее практическое значение имеет второй крайний случай, при котором количество образуемых на эмиттере ионов ограничивается только тормозящим действием электрического поля объемного заряда. Расчеты концентрации ионов в таком случае выполняются методами теории коронного разряда. Исследуем подробнее ионизатор, установленный в висячем положении посередине помещения, которое считаем приблизительно сферой радиуса R . Полагаем, что ионизатор может рассматриваться как шар радиуса r_0 . В стационарном режиме для плотности ионного тока j выполняется соотношение

$$j = \frac{N\varepsilon}{4\pi r^2},$$

где r — расстояние рассматриваемой точки от центра ионизатора. Из последнего выражения находим:

$$n = \frac{j}{kE\varepsilon} = \frac{N}{4\pi kEr^2}$$

Напряженность электрического поля определяется уравнением Пуассона

$$\operatorname{div} \vec{E} = 4\pi q = \frac{N\varepsilon}{Ekr^2}$$

Найдем решение последнего уравнения, удовлетворяющее начальному условию $N = 0$ при $\varphi = 0$:

$$E = \sqrt{\frac{2N\varepsilon}{3kr}}$$

Определяя теперь N из условия

$$\int_R^{r_0} E dr = \varphi,$$

где φ — напряжение ионизатора, получаются результаты:

$$N = \frac{3k\varphi^2}{8\varepsilon(\sqrt{R} - \sqrt{r_0})^2} \quad (7)$$

и

$$n = \frac{3\varphi}{16\pi\varepsilon(\sqrt{R} - \sqrt{r_0})r^{3/2}} \quad (8)$$

Концентрация ионов по последней формуле убывает обратно пропорционально расстоянию в степени $3/2$ и совсем не зависит от подвижности ионов.

Формулы (7) и (8) выведены при условии, что ионизация прекращается только при $\varphi = 0$. Они находятся в согласии с экспериментальными результатами исследования коронных ионизаторов с защищенными остриями, при которых распространение ионов определяется напряжением корпуса и защитной сетки (или защитных стержней) острий.

В случае коронных ионизаторов с незащищенными остриями вышеотмеченное условие неверно и формулы (7) и (8) могут применяться только тогда, когда $\varphi \gg \varphi_k$, где φ_k — начальное напряжение коронного разряда. В противном случае следует применить несколько отличающееся приближенное выражение

$$n \simeq \frac{3\varphi(\varphi - \varphi_k)}{16\pi\epsilon\sqrt{RV}\varphi(\varphi - \varphi_k)r^3 + 4C^2\varphi_k^2R}, \quad (9)$$

где C — емкость системы коронирующих электродов в отношении стен помещения.

Удаление ионов от аэроионизатора потоком воздуха

Этот способ наиболее известный и применяется в разных ионизаторах.

Исследуем удаление ионов в симметричном ионизаторе с эмиттером, генерирующим ионы со своей поверхности (рис. 1) Примером такого ионизатора может быть термоионизатор кислорода¹

Электрическое поле в ионизаторе создается между эмиттером и внешним электродом, напряжение между которыми обозначим через φ . Допустим, что влияние объемных зарядов на электрическое поле ничтожно. Это допущение достаточно точное, если ионизатор работает далеко от коронного режима. Допустим, что ионы создаются на эмиттере однородной концентрации.

Используем свойство инвариантности траекторий ионов относительно одновременного изменения полярности напряжения φ и направления поля скоростей воздушного потока. При этом изменяется только направление движения ионов по траекториям. Это позволяет рассматривать описанный ионизатор как «обратный аспирационный счетчик ионов». Применяя теорию интегрального аспирационного счетчика ионов, можно утверждать, что траектории ионов не кончаются на внешнем электроде, если только выполняется соотношение

$$\varphi < \varphi_0 = \frac{\Phi}{4\pi Ck}, \quad (10)$$

¹ Э. И. Раудам, Я. Ю. Рейнет. О действии ионизированного кислорода на некоторые функции организма. Вопросы курортологии V. Рига, 1959.

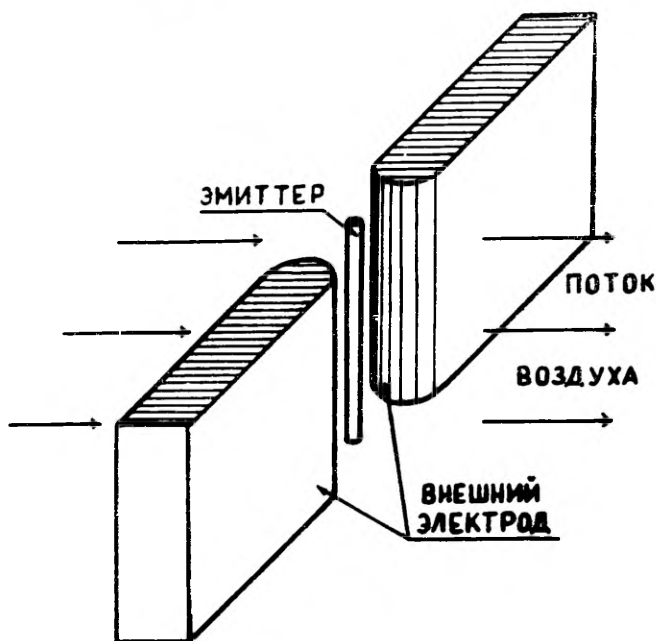
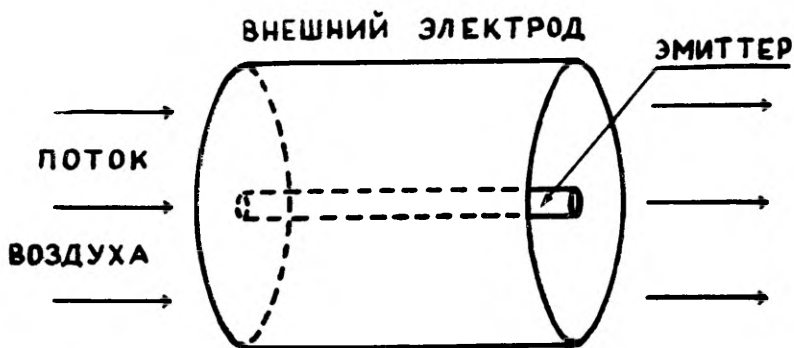


Рис. 1. Примеры симметричных ионизаторов. а) Ионизатор, симметричный относительно прямой. б) Ионизатор, симметричный относительно плоскости.

где Φ — объемная скорость воздушного потока и C — электростатическая емкость эмиттера. Такой режим ионизатора соответствует режиму омического тока в аспирационном счетчике. При выполнении условия (10) число «свободных» ионов N , генерируемых прибором, равняется числу ионов N_0 , возникающих на эмиттере.

При увеличении напряжения часть ионов будет осаждаться на внешнем электроде и число ионов N , выходящих из прибора, становится меньше числа N_0 . В этом случае ионизатору соответ-

ствует счетчик в режиме тока насыщения. Из теории интегрального счетчика известно, что отношение тока насыщения к омическому току равняется $\frac{\varphi_0}{\varphi}$. Из вышеприведенного вытекают следующие выражения для числа ионов, выходящих из ионизатора.

$$N = N_0, \text{ если } \varphi \leq \varphi_0 \quad (11)$$

$$N = \frac{\varphi_0}{\varphi} N_0, \text{ если } \varphi \geq \varphi_0 \quad (12)$$

Рассмотрим проблему определения оптимального режима ионизатора, т. е. режима, в котором N наибольшее.

Число ионов, генерируемых эмиттером в единицу времени, в общем случае пропорционально площади эмиттера и зависит от напряженности поля на эмиттере

$$N_0 = Sf(E), \quad (13)$$

где S — площадь эмиттера и $f(E)$ — характерная для эмиттера функция напряженности электрического поля. Как правило, эта функция всегда монотонно возрастающая.

Полагая напряженность поля на эмиттере однородной, определяем E :

$$E = 4\pi \frac{C\varphi}{S} \quad (14)$$

Так как N_0 является возрастающей функцией от E , то при $\varphi \leq \varphi_0$ явно полезно выбрать $\varphi = \varphi_0$. Этим самым мы установили, что N для оптимального режима ионизатора всегда определяется формулой (12), ибо как раз и эта формула описывает случай $\varphi = \varphi_0$. Из формул (10), (12), (13) и (14) получается более наглядное выражение числа «свободных ионов»

$$N = \frac{\Phi}{k} \frac{f(E)}{E} \quad (15)$$

с дополнительным условием

$$\varphi \geq \varphi_0. \quad (16)$$

Так как Φ и k определяются общими требованиями к ионизатору, то N зависит только от напряженности электрического поля на эмиттере. Для установления оптимальной напряженности E_{opt} следует экспериментальным путем найти абсолютный максимум функции $\frac{f(E)}{E}$. Из выражений (10) и (14) следует соотношение для напряжения φ_{opt} в оптимальном режиме

$$\frac{\varphi_{\text{opt}}}{\varphi_0} = \frac{kSE_{\text{opt}}}{\Phi} \quad (17)$$

По техническим соображениям величины S и φ выгодно выбрать возможно меньшими. Понижение напряжения ограничивается неравенством (16), откуда имеем

$$\varphi_{\text{opt}} = \varphi_0.$$

Теперь легко установить соотношение

$$S_{\text{opt}} = \frac{\Phi}{kE_{\text{opt}}} \quad (18)$$

Размеры ионизатора и напряжение φ_{opt} должны быть выбраны так, что

$$C\varphi_{\text{opt}} = \frac{\Phi}{4\pi k} \quad (19)$$

Если экспериментально E_{opt} получается очень малым, так что реализация оптимальной площади эмиттера не оказывается возможной, то S следует выбрать возможно большим и $C\varphi_{\text{opt}}$ определить по-прежнему формулой (19).

Если же E_{opt} получается выше технически допустимых значений, то E следует выбрать максимально допустимым и S_{opt} вычислить по формуле (18) при выбранном значении E . Если теперь оптимальная площадь эмиттера будет слишком малой для реализации, то без опасения уменьшения ионизации величину S можно выбрать произвольно. $C\varphi_{\text{opt}}$ определяется в таком случае по формуле

$$C\varphi_{\text{opt}} = \frac{SE}{4\pi}, \quad (20)$$

выведенной из выражений (10) и (17)

Концентрация ионов в воздухе, выходящем из рассматриваемого ионизатора, выражается в общем случае следующим образом:

$$n = \frac{Sf(E)}{4\pi Ck\varphi}, \quad \varphi \geq \varphi_0. \quad (21)$$

При оптимальном режиме концентрация ионов достигает наивысшего значения, что позволяет получить применяемый тип эмиттера

$$n_{\text{opt}} = \frac{f(E_{\text{opt}})}{kE_{\text{opt}}} \quad (22)$$

Заключение

Основными факторами при распространении аэроионов являются электрическое поле и движение воздуха. При этом значительное влияние может оказать электрическое поле собствен-

ного объемного заряда ионизированного воздуха, которое обуславливает известную нестабильность высокой униполярной ионизации.

Для удаления ионов от аэроионизатора с успехом может применяться электрическое поле. Теоретическое рассмотрение вопроса позволяет вычислить концентрацию ионов, достигаемую при последнем методе.

Исследуя наиболее известный метод удаления ионов при помощи воздушного потока, выводятся формулы для числа увлекаемых потоком ионов и формулы для вычисления оптимальных параметров симметричных ионизаторов с продуванием воздуха.

IOONIDE EEMALDAMINE AEROIONISAATORIST

H. Tammet

Resümee

Ioonide eemaldamine aeroionisaatorist on üks olulisemaid probleeme aeroionisaatorite konstrueerimisel.

Põhitegureiks ioonide levimisel on elektriväli ja õhuvool. Väga oluline osa on ioniseeritud õhu ruumlaengu elektriväljal. Ruumlaengu elektriväljast tingitud ioonide elektrostaatiline hajumine on unipolaarse ionisatsiooni ebastabiilsuse põhjuseks.

Ioonide eemaldamiseks ionisaatorist võib edukalt kasutada ka ainult elektrivälja. Ioonide kontsentratsiooni arvutamine selle meetodi korral on teostatud kahel äärmusjuhul:

- a) kui ioniseeritud õhu ruumlaengu elektriväli on palju väiksem välisest elektriväljast;
- b) kui õhu ruumlaengu elektriväli on ainsaks ioonide voolu piiravaks teguriks. Viimasel juhul kahaneb ioonide kontsentratsioon kerakujulises ruumis, mille tsentris asub ionisaator, pöördvõrdeliselt vaadeldava punkti kaugusega tsentrist astmes $3/2$.

Komplitseeritum on küsimus ioonide eemaldamisest õhuvoolu abil. Sümmeetriliste ionisaatorite korral hõlbustab arvutusi analoogia aspiratsioonloendajaga, kus ioonide liikumine allub samadele seadustele ning erineb vaid suuna poolest. Saadud tulemuste alusel on teostatud arvutusi ionisaatori optimaalse režiimi leidmiseks ning on tuletatud valemid, mis võimaldavad mõningail juhtudel määrata ionisaatori optimaalseid parameetreid.

REMOVAL OF IONS FROM A AIR ION GENERATOR

H. Tammet

Summary

The removal of ions from the air ions generator is one of the most important problems of the construction of an air ions generator.

The main factors of ions spreading are electric field and air current. The electric field created by the space charge of the ionized air is significant. The electrostatic dispersion of ions, which depends on the electric field of the space charge, causes the instability of the unipolar ionization.

For removal of ions from the generator the electric field only may be successfully used. The computation of the ions concentration is performed by this method in two extreme cases:

- 1) when the electric field of the space charge created by the ionized air is much smaller than the external electric field,
- 2) when the electric field of the space charge of the air is the only factor to limit the ions current. In this case the ions concentration in the spherical space at the centre of which is placed the generator of air ions decreases reciprocally to the power of $3/2$ of the distance from the centre to the considered point.

The problem of the removal of ions by means of air current is more complicated. In the case of a symmetrical air ions generator the analogy to aspiration counters, where motion of ions is submitted to the same laws and differs only by the direction, facilitates the calculation. Calculations are performed to determine the optimal regime of the air ions generator taking into account the results mentioned above. Derived formulae permit to state optimal parameters in some cases.

ИОНИЗАЦИОННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ К ГАЗОВОМУ ХРОМАТОГРАФУ

Я. Ю. Рейнет, В. В. Корнель, Ю. Х. Пускар и М. Л. Вахеметса

1. Введение

Газохроматографический метод химического анализа легкокипящих смесей имеет обширные перспективы в области автоматизации производственных процессов, экспресс-анализа и т. д.

Использование в газовой хроматографии капиллярных колонок с большой разделительной способностью выдвигает потребность в детекторах с большей чувствительностью, потому что удачное разделение смесей на компоненты предполагает уменьшение величины пробы.

Из многих разработанных методов детектирования и конструкций детекторов в отношении удовлетворения требованиям, предъявленным к детекторам, можно выделить ионизационные детекторы.

В ионизационном детекторе, который можно рассматривать как ионизационную камеру, число элементарных ионизационных процессов при прохождении органического газокомпонента велико. В подходящем режиме тока насыщения измеряемый ионизационный ток намного превышает начальный ионизационный ток для применяемых газов-носителей и в обширном диапазоне концентраций прямопропорционален массе или концентрации компонента. Изменения ионизационного тока усиливаются и автоматически регистрируются. Большая чувствительность, линейность показаний, малый рабочий объем детектора и почти безынерционное реагирование делают ионизационные детекторы эффективным средством в газовой хроматографии.

2. Конструкции детекторов

На кафедре общей физики Тартуского государственного университета разработаны две конструкции ионизационных детекторов — водородный пламенно-ионизационный и аргонный детектор.

При горении водородного пламени в воздухе или в кислороде число возникающих ионов незначительно, но при введении в пламя углеродных соединений число ионов значительно возрастает. Для конструирования детектора это явление впервые использовано Мак-Уильямом [1]. Данная конструкция детектора (рис. 1) выполнена на основе работ Мак-Уильяма, Дюара. Скотта и др. [2, 3].

Конструкция водородного пламенно-ионизационного детектора, имеющего две изолированные горелки, предусматривает его использование со сравнительной колонкой в дифференциальной схеме для компенсации флуктуаций ионизационного тока при изменении скорости потока газа-носителя, давления и других факторов. Но детектор можно успешно использовать и однопламенным, потому что первый вариант не имеет особых преимуществ из-за трудностей при создании одинаковых условий горения двух языков пламени.

В аргоновом детекторе применяются в качестве газа-носителя аргон или гелий, атомы которых возбуждаются на метастабильных уровнях радиоактивным излучением. Введение компонента газа в детектор обуславливает изменение ионизационного тока из-за воздействия метастабильных атомов газа-носителя на молекулы пробы с меньшим ионизационным потенциалом.

Аргоновый детектор имеет только одну ячейку (рис. 2) и может работать без компенсационной ячейки, потому что уже ранние работы Лавлока [4] и предварительные опыты показали, что изменения ионизационного тока при прохождении газового компонента в тысячи раз превышают начальный ток. Изменения ионизационного тока, обусловленные изменениями температуры и давления, при подходящем выборе усилителя незначительны.

В детекторе применена предложенная Лавлоком возможность замещения центрального электрода точечным анодом, находящимся у входа газового потока, что делает возможным использование детектора с капиллярными колонками, требующими уменьшения эффективного рабочего объема детектора до нескольких микролитров [5].

В качестве источника радиоактивного излучения применен β -активный препарат Sr^{90} . При данной толщине стен ячейки (более 20 мм) детектор безопасен в ходе работы. На расстоянии 10 см от детектора излучение не превышает 0,5 миллирентгена в час.

3. Аппаратура

Сконструированные детекторы испытаны с универсальным газовым хроматографом УХ-1, выпускаемым Таллинским заводом измерительных приборов, имеющим детектор теплопроводности. Для приспособления УХ-1 к работе с более чувствитель-

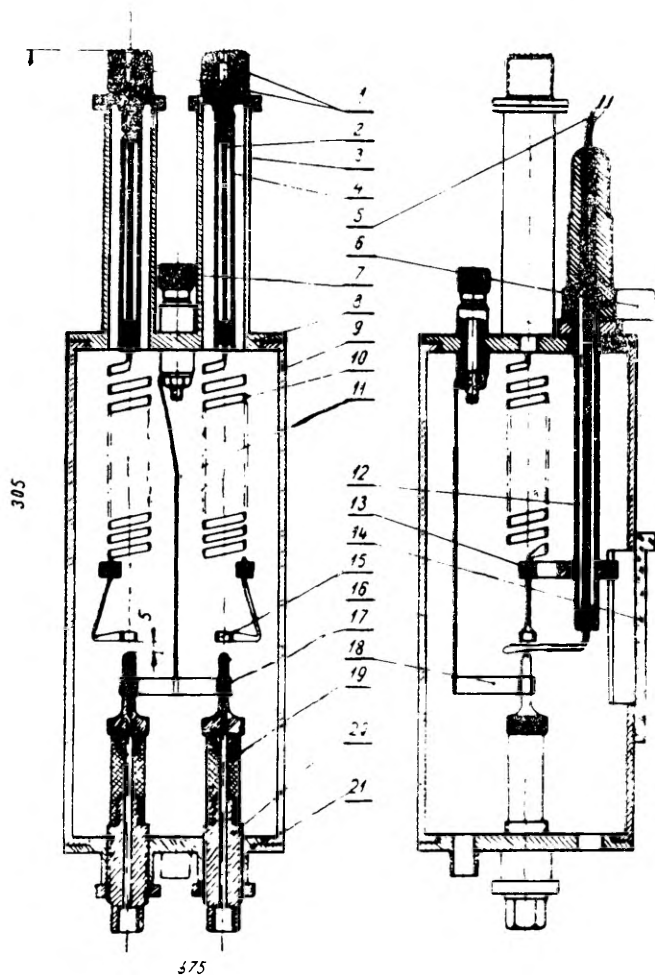


Рис. 1. Двухпламенный детектор в разрезе: 1 — контакты, 2 — стержень электрода, 3 — внешняя обкладка изоляторов, 4 — стеклянная трубка, 5 — соединительные провода для зажигания пламени, 6 — рукоятка для перемещения провода зажигания, 7 — клемма, 8 — верхняя крышка, 9 — корпус детектора, 10 — спираль электрода, 11 — провод, подводящий напряжение горелки, 12 — трубка для проводов зажигания, 13 — держатель верхнего электрода и изоляторов, 14 — окно из органического стекла, 15 — верхний электрод, 16 — провод для зажигания, 17 — горелка, 18 — соединительный провод с клеммой, 19 — изолятор, 20 — входная трубка горелки, 21 — основание детектора.

ными ионизационными детекторами надо иметь стабильный источник постоянного напряжения до 1400 в для работы с аргоновым детектором. Оптимальное рабочее напряжение для водородного пламенно-ионизационного детектора 200 в на одно пламя.

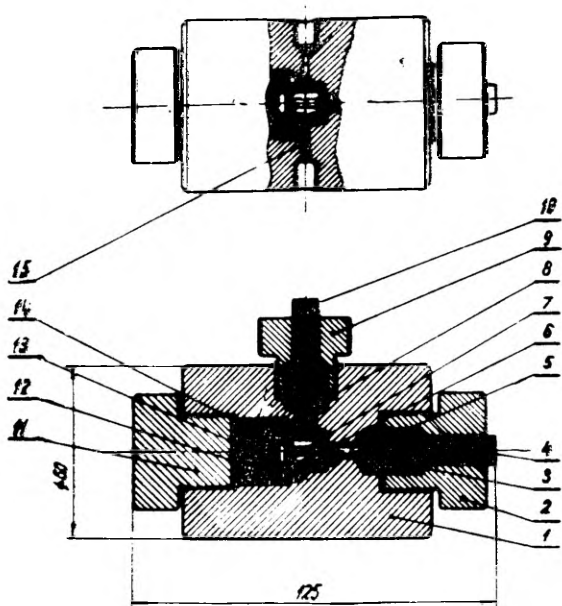


Рис. 2. Аргоновый детектор в разрезе: 1 — корпус, 2 — крепящая гайка, 3 — изолятор, 4 — гнездо вилки, 5 — изолятор, 6 — внешний электрод, 7 — центральный электрод, 8 — изолятор, 9 — крепящая гайка, 10 — гнездо вилки, 11 — пробка, закрепляющая препарат, 12 — промежуточная шайба, 13 — препарат, 14 — прокладка из пермаллоя, 15 — отверстия для прохода газа.

В качестве самописца применен аппарат для регистрации малых токов ЭППВ-51, который измеряет токи в диапазонах $2,7 \cdot 10^{-8}$ — 10^{-11} а. Вибратор-преобразователь самописца преобразует постоянный ток в переменный ток с частотой 50 гц, который затем усиливается. Чтобы использовать максимальную чувствительность аргонного детектора, надо иметь самописец для регистрации токов порядка 10^{-13} а.

Разделительной колонкой служит 4-метровая колонка диизоамилфталата.

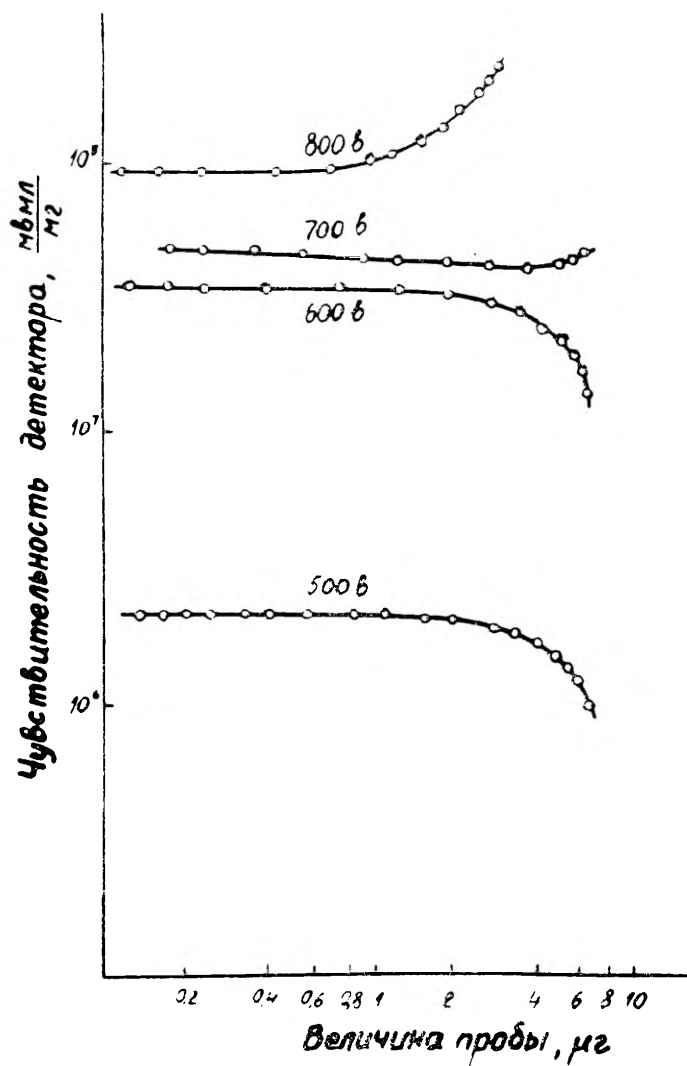


Рис. 3. Зависимость чувствительности аргонного детектора от величины пробы для пика изобутана при разных напряжениях.

4. Чувствительность детекторов

Чувствительность детекторов определена по формуле Димбата, Портера, Штрасса [6].

$$S = AC_1C_2C_3/W \frac{\text{МВМЛ}}{\text{мг}}, \quad (1)$$

где A — площадь пика компонента в см^2 (пик аппроксимирован к треугольнику), C_1 — обратная скорость ленты самописца в $\frac{\text{мин}}{\text{см}}$, C_2 — чувствительность самописца в $\frac{\text{мВ}}{\text{см}}$, C_3 — объемная скорость газа в $\frac{\text{мл}}{\text{мин}}$ W — масса компонента в мг

При рабочем напряжении 200 в для смеси пропан-бутана с известным составом чувствительность была порядка $10^7 \frac{\text{МВМЛ}}{\text{мг}}$, которая приблизительно в 10^3 раз больше чувствительности детектора теплопроводности в данных условиях. Чувствительность детектора оказывается постоянной в диапазоне проб от 10^{-7} мл до 10 мл.

Чувствительность аргонowego детектора зависит значительно от напряжения (рис. 3). При напряжениях выше 800 в начинается газовое усиление, которое при больших концентрациях пробы переходит в газовый разряд, и величина максимально анализируемой пробы уменьшается. Максимальная чувствительность при напряжении 1400 в — $10^{10} \frac{\text{МВМЛ}}{\text{мг}}$

Выводы

1. Разработаны конструкции и исследованы ионизационные детекторы высокой чувствительности — водородный пламенно-ионизационный (рис. 1) и аргонный детектор (рис. 2).

2. Чувствительность детекторов по формуле (1) для смеси пропан-бутан водородного пламенно-ионизационного детектора — порядка $10^7 \frac{\text{МВМЛ}}{\text{мг}}$, максимальная чувствительность аргонowego детектора при напряжении 1400 в — порядка $10^{10} \frac{\text{МВМЛ}}{\text{мг}}$

3. С небольшими изменениями детекторы можно использовать с газовым хроматографом УХ-1.

1. Mc William, I. G., Dewar, R. A. Gas Chromatography, 1958, London, Butterworth Scientific Publications.
2. Mc William, I. G., Dewar, R. A. Nature 1958, **181**, 760.
3. Scott, R. P. W. Manufacturing Chemist. Vol. XXIX, 1958, Nr. 10, 411.
4. Lovelock, J. E. Gas Chromatography, Ed. by R. P. W. Scott, London 1960.
5. Lovelock, J. E. Nature 1958, **182**, 1162.
6. Dimbat, M., Porter, P. E., Stross, F. H. Anal. Chem. 1956, **28**, 290.

IONISATSIOONDETEKTORID GAASKROMATOGRAAFILE

J. Reinet, V. Kornel, J. Puskar ja M. Vahemetsa

Resümee

On välja töötatud ja uuritud kõrgtundlikke ionisatsioonidetektorid gaaskromatograafidele — vesiniku leekionisatsioon- ja argoon-detektorit.

Vesiniku leekionisatsioonidetektori tundlikkus propaan-butaan-segule (arvutatud valemi 1 järgi) on umbes 10^7 mV ml/mg ja argoon-detektori maksimaalne tundlikkus pingele juures 1400 volti umbes 10^{10} mV ml/mg.

Väheste täiendustega on võimalik väljatöötatud ionisatsioon-detektoreid kasutada Tallinna Mõõduriistade Tehases toodetava gaaskromatograafi YX-1 juures soojusjuhtivusdetektori asemel, et tõsta gaaskromatograafi tundlikkust.

IONIZATION DETECTORS FOR GAS-CHROMATOGRAPHS

J. Reinet, V. Kornel, J. Puskar and M. Vahemetsa

Summary

The authors have constructed and studied supersensitive ionization detectors for gas-chromatographs — hydrogen flame-ionization and argon detectors.

The degree of sensitivity of the flame-ionization detector to the propane-butane mixture (calculated by formula 1) is about 10^7 mV ml/mg and the maximum sensitivity of the argon detector at 1400 volts is around 10^{10} mV ml/mg.

With a few slight improvements it is possible to use the constructed ionization detectors for the gas-chromatograph YX-1 manufactured at the Tallinn Plant of Measuring Instruments in place of the heat conducting detector with the aim of increasing the sensitivity of the gas-chromatograph.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ЭЛЕКТРООКРАСКИ МЕЛКИХ ИЗДЕЛИЙ

Л. Ю. Виснапуу и Я. Ю. Рейнет

Для предохранения от коррозии, придания окрашиваемым изделиям красивого внешнего вида, улучшения их эксплуатационных качеств существует несколько методов нанесения лаков и красок: кистями, обливанием, окунанием, с помощью распыления и др. Наиболее широкое распространение получил способ окраски распылением, обычно осуществляемый пневматическим распылителем, распыляющим краску на мельчайшие капельки и направляющим их к окрашиваемому изделию. Этот способ наиболее механизирован, но сопряжен с большими потерями лакокрасочных материалов. В зависимости от распылителей, размеров и формы изделий потери красок достигают 30—80% [1]. Особенно велики потери красок при окраске мелких изделий. Кроме того, недостатками этого метода являются большая трудоемкость, малая производительность окраски и тяжелые санитарно-гигиенические условия труда.

Для устранения указанных недостатков выявлены следующие направления: [2]

- 1) улавливание краски при помощи гидрофильтров, ловушек и дальнейшее ее использование;
- 2) совершенствование конструкции распылителей;
- 3) применение электрического поля высокого напряжения для зарядки капелек краски и направленного перемещения их к окрашиваемым изделиям и др.

В экспериментальной установке для электроокраски мелких изделий, разработанной авторами, используются все три указанные возможности усовершенствования метода окраски распылением.

Кстати отметим, что электрические методы окраски преследуют получение равномерного тонкого слоя на поверхности изделий при наибольшем использовании распыляемых материалов. При этом имеется возможность механизации процесса окраски, повышается производительность труда, улучшаются санитарно-гигиенические условия труда и качество выпускаемой продукции.

Известны следующие способы электроокраски:

- 1) применение коронирующих рамок (сеток) или игольчатых электродов и пневматических распылителей [1, 3, 4];
- 2) использование дисковых, чашечных и грибковых электrorаспылителей [1, 4, 5, 6, 7];
- 3) применение электрокисти [6];
- 4) применение ручных электrorаспылителей различной конструкции [8, 9, 10, 11].

Однако оборудование при указанных способах электроокраски сложное и нуждается в источниках довольно высокого напряжения (80—140 кв).

При разработке экспериментальной установки для электроокраски мелких изделий, главным образом водоэмульсионными и водными красками, исходили из требований эффективной электрической зарядки распыляемой краски, применяя по возможности более низкое напряжение, компактности установки и возможности конвейеризации процесса окраски.

Экспериментальная установка электроокраски (рис. 1) со-

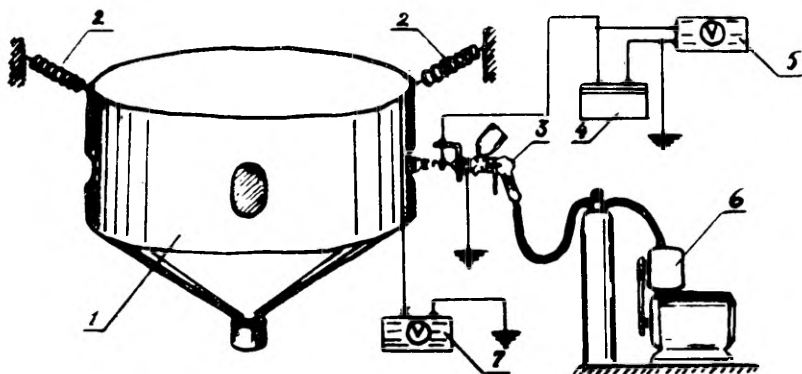


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для электроокраски: 1 — окрасочная камера, 2 — высоковольтные изоляторы, 3 — электrorаспылитель (с ионизирующим электродом), 4 — источник высокого напряжения, 5 — статический вольтметр для измерения напряжения на ионизирующем электроде, 6 — компрессор сжатого воздуха, 7 — статический вольтметр для измерения напряжения на окрасочной камере.

стоит из окрасочной камеры 1, транспортирующего механизма (на рисунке не показано), электrorаспылителя 3, источников высокого напряжения 4.

Окрасочная камера представляет собой замкнутую металлическую конструкцию проходного типа. Для прохода окрашиваемых изделий и ввода факела краски в стенках камеры имеются соответствующие проемы. Коридор прохода изделий через камеру окружен цилиндрической сеткой из тонкой проволоки.

Сетка электрически соединена с самой камерой. Камера подвешена на изоляторах высокого напряжения 2.

Если окрасочная камера предусмотрена для окраски изделий взрывоопасными красками, то она должна быть снабжена реле защиты от искрообразования [6] и системой вытяжной вентиляции [12], предотвращающей образование взрывоопасной концентрации паров растворителя. Во избежание засасывания в систему вентиляции частиц распыленной краски желательно применять уменьшенные скорости вентилируемого воздуха. При этом укажем, что для обеспечения большей безопасности внешняя замкнутая камера может вообще отсутствовать, применяется только одна сетка, окружающая конвейер с изделиями и направляющая заряженную краску на изделия.

Транспортирующий механизм состоит из конвейера, подвесок и приводных устройств. При окраске изделий применяются вращающиеся подвески [12], обеспечивающие равномерное осаждение краски по всей поверхности изделия. При внедрении окрасочной установки в производство предусматривается, что окрашенные изделия доставляются транспортирующим механизмом в терморадационную сушильную камеру [13, 14]. Последняя представляет собой туннельную проходную печь, в которой сушка производится инфракрасными лучами.

Электрораспылитель сконструирован на базе обыкновенного краскораспылителя пистолетного типа О-45. Ранее, чем перейти к описанию электрораспылителя, остановимся на общих вопросах электрической зарядки жидкостей.

Существует несколько способов зарядки распыляемых материалов. Все они, главным образом, основаны на использовании так называемого метода электростатической индукции [15] или коронного разряда [16]. Соответствующие приспособления, к сожалению, весьма сложны по своему устройству, громоздки и нуждаются в источнике довольно высокого напряжения (90—140 кв). Авторами разработано простое приспособление к вышеуказанному краскораспылителю, которое позволяет электрически униполярно заряжать жидкость непосредственно в процессе распыления.

В случае индукционной электризации капельки распыляемой жидкости приобретают заряд в части пространства, которую назовем зоной индукции.

В зоне индукции на поверхности распыляемой жидкости образуется поверхностный заряд, который уносится каплями из сопла распылителя. Возникающую силу тока обозначим через I .

Введем некоторую среднюю плотность заряда, определяемую формулой

$$q = \frac{I}{\Phi}, \quad (1)$$

где Φ — объемная скорость распыления жидкости.

Величина q характеризует эффективность электрической зарядки жидкости. q тем больше, чем меньше произведение величин удельного объемного сопротивления ρ_v и диэлектрической постоянной ϵ для данной жидкости и чем больше напряженность поля в зоне индукции [15, 17].

Как показали опыты, сила тока, обусловленного осаждаемой на коллектор заряженной распыленной жидкостью, при повышении напряжения на индуцирующем электроде растет и при определенном напряжении имеет максимальное значение; при дальнейшем повышении напряжения она начинает падать.

В случае зарядки при помощи коронного разряда с коронирующего электрода к некоронирующему идет поток ионов одного знака. Если струю распыленной жидкости направить через разрядный промежуток короны, то эти ионы адсорбируются на поверхности капелек и последние окажутся электрически заряженными.

При этом за весьма короткое время ($\sim 0,01$ сек) капелька может получить заряд, очень близкий к максимальному.

Максимальный заряд капельки прямопропорционален величине напряженности электрического поля и поверхности капельки [18].

Применяя коронный разряд с острий для зарядки распыляемых жидкостей, укажем еще на следующее обстоятельство. На любую частицу (заряженную и незаряженную) в неоднородном электрическом поле, кроме силы, обусловленной зарядом, действуют еще силы поля, равнодействующая которых

$$\vec{F} = r^3 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \vec{E} \operatorname{grad} \vec{E}. \quad (2)$$

В ближайшей окрестности коронирующего электрода, где $\vec{E} \operatorname{grad} \vec{E}$ становится очень большим, сила \vec{F} велика. Если распыляемая жидкость липкая и ее струя проходит вблизи коронирующих электродов, то на последних могут образоваться наросты, что уменьшает интенсивность коронного разряда, а следовательно, и эффективность зарядки. Коронирующие электроды могут засоряться также взвешенными в воздухе частицами пыли, оседающими на них. Во избежание притяжения капелек к электродам последние должны быть установлены на некотором удалении от факела распыленного вещества.

Теперь о самом распылителе (рис. 2), позволяющем получить электрически заряженную распыленную жидкость. Распыление жидкости происходит за счет механической энергии сжатого воздуха, подаваемого соответствующим компрессором. Перед соплом распылителя на специальном держателе из изоляционного материала установлены индуцирующий и корони-

рующий электроды. Экспериментально было испытано множество электродов различной формы и размеров. Индуцирующим электродом было выбрано металлическое кольцо, охватывающее факел распыленной жидкости вблизи сопла распылителя; к нижней части индуцирующего кольца прикрепляется металлическая пластинка. Коронирующими электродами служат иглки, к нижней части индуцирующего кольца прикрепляется металлическая пластинка. Коронирующими электродами служат иглки,

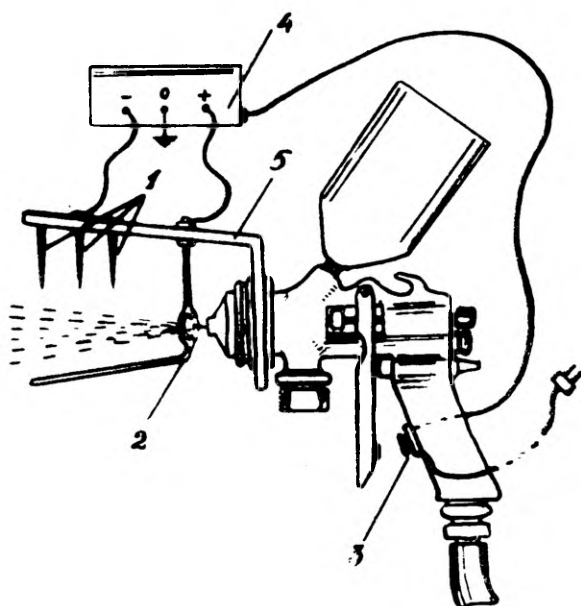


Рис. 2. Электрораспылитель: 1 — коронирующие игольчатые электроды, 2 — индуцирующее кольцо с пластинкой, 3 — включатель сетевого напряжения, 4 — источник высоких напряжений, 5 — держатель электродов из диэлектрического материала.

обращенные своими остриями к пластинчатому электроду. Все электроды установлены так, что струя распыленной жидкости проходит через кольцо и промежуток между пластинкой и коронирующими остриями, не задевая ни одного электрода. Кольцеобразный и пластинчатый электроды связаны электрически между собой, на них подается от специального выпрямителя положительное напряжение порядка 5 кв, причем отрицательный полюс выпрямителя заземляется. На коронирующие электроды подается от аналогичного выпрямителя отрицательное напряжение порядка 10—20 кв, причем положительный полюс выпрямителя заземляется. Также должен быть заземлен корпус распылителя. Описанное взаимное расположение электродов и указанное соединение их с полюсами источников напряжения позволяют при помощи высоковольтных выпрямителей со сравнительно низким выходным напряжением получить довольно ин-

тенсивный коронный разряд. При этом мощность, потребляемая от выпрямителя, незначительна.

Исходя из требования компактности электрораспылителя и по возможности низких применяемых высоких напряжений, укажем на следующее обстоятельство. Чтобы получить большую эффективность зарядки, индуцирующий кольцообразный электрод надо приблизить к соплу распылителя и коронирующие электроды к факелу распыленной жидкости. Однако указанное приближение ограничено опасностью пробоя между индуцирующим электродом и соплом и засорения коронирующих электродов. Для увеличения напряженности поля в зоне индукции диаметр индуцирующего кольца должен быть малым, но не настолько, чтобы струя распыленной жидкости касалась кольца. Если индуцирующая пластинка близко расположена к факелу распыленной жидкости или на нее подано слишком высокое напряжение, то заряженные частицы будут притягиваться к ней, что может сильно снизить заряд распыленной жидкости.

Коронирующие электроды оказывают на жидкость в окрестности сопла также индуцирующее действие, создавая заряды противоположного нежелательного знака. Для уменьшения этого сопло распылителя желательно экранировать от коронирующих электродов, например, при помощи индуцирующего кольца.

Размеры, взаимное расположение индуцирующих и коронирующих электродов и величины напряжений, подаваемых на них, подбираются опытным путем, добиваясь максимального значения величины силы тока, обусловленного заряженной распыленной жидкостью. Для измерения силы тока струю жидкости направляют на изолированный от земли коллектор и следят за показаниями микроамперметра, включенного между коллектором и землей.

Измерив объемную скорость распыления жидкости $\Phi \left(\frac{\text{мл}}{\text{сек}} \right)$ и силу тока I (мкА) согласно формуле (1), можно определить среднюю плотность заряда распыленной жидкости:

$$\rho = 3 \cdot 10^3 \frac{I}{\Phi} \left(\frac{\text{эл.-ст. ед. заряда}}{\text{мл}} \right) \quad (3)$$

В нижеприведенной таблице даны значения плотности заряда для различных жидкостей, распыленных и заряженных при помощи описанного электрораспылителя.

В таблице даны также значения удельных объемных сопротивлений ρ_v и диэлектрических постоянных ϵ для соответствующих жидкостей, чтобы можно было сопоставить плотности заряда распыленных жидкостей в зависимости от их ρ_v и ϵ (особенно при индукционной зарядке) Плотность заряда распыленных жидкостей дается для трех вариантов применения электродов:

Таблица 1

Жидкость	Уд. объемн. сопр. ρ_v (ом см)	Диэл. пост. ϵ	Плотность заряда $\frac{\text{эл.-ст. ед. заряда}}{\text{мл распыл. жид.}}$		
			I	II	III
Бензин	$9,0 \cdot 10^{10}$	2,3	0	$4,7 \cdot 10^3$	$5,4 \cdot 10^3$
Бензол	$3,2 \cdot 10^{10}$	2,3	0	$4,3 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^3$
Ксилол	$3,1 \cdot 10^{10}$	2,4	0	$5,0 \cdot 10^3$	$5,6 \cdot 10^3$
Дихлорэтан	$5,0 \cdot 10^7$	2,3	$4,2 \cdot 10^2$	$6,1 \cdot 10^3$	$6,3 \cdot 10^3$
Спирт	$2,8 \cdot 10^5$	26	$2,6 \cdot 10^3$	$4,8 \cdot 10^3$	$6,4 \cdot 10^3$
Ацетон	$2,7 \cdot 10^5$	21,4	$2,8 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^3$	$5,4 \cdot 10^3$
Вода	$9,0 \cdot 10^3$	81	$4,3 \cdot 10^3$	$3,8 \cdot 10^3$	$7,2 \cdot 10^3$
Муар-25	$1,4 \cdot 10^9$	—	$2,2 \cdot 10^2$	$3,1 \cdot 10^3$	$5,8 \cdot 10^3$
Грунтовка № 138	$1,1 \cdot 10^9$	—	$2,6 \cdot 10^2$	$3,7 \cdot 10^3$	$5,3 \cdot 10^3$
МЛ-25	$1,0 \cdot 10^8$	—	$0,9 \cdot 10^3$	$9,0 \cdot 10^3$	$4,9 \cdot 10^3$
Алюминиевая нитрокраска	$2,8 \cdot 10^5$	—	$4,4 \cdot 10^3$	$5,5 \cdot 10^3$	$5,6 \cdot 10^3$

I — перед соплом распылителя установлен кольцеобразный индуцирующий электрод \varnothing 10 мм на расстоянии 5 мм от сопла, на электрод подано оптимальное напряжение +4 кв;

II — перед соплом распылителя установлены коронирующие игольчатые электроды, на которые подано напряжение —9 кв, а индуцирующие электроды заземлены, среднее расстояние между остриями и пластинчатым электродом 25 мм; начальное напряжение коронного разряда — 3 кв; сила тока, обусловленного легкими ионами воздуха, созданными коронным разрядом, при этом находится в пределах ошибок измерений;

III — также как II, только на индуцирующие электроды подано напряжение +4 кв, т. е. комбинация I и II.

Как видно из таблицы, при помощи индукции можно электризовать жидкости, обладающие удельным объемным сопротивлением $\rho_v \lesssim 10^8$ ом см.

Далее можно заключить, что при помощи коронного разряда можно заряжать любые жидкости, причем заметной зависимости эффективности зарядки жидкости от ее свойств не наблюдается.

К тому же отметим, что если метод индукции позволяет заряжать жидкость до достаточной степени, то желательно применять индуцирующие электроды, а не коронирующие, так как последние являются, по сравнению с индуцирующими электродами, менее надежными в работе (возможность засорения) и нуждаются в более высоком напряжении для получения того же эффекта.

В некоторых случаях, когда индуцирующие и коронирующие электроды не позволяют в отдельности получить требуемой эффективности зарядки жидкости или когда свойства последней еще не известны, можно применять те и другие электроды совместно (вариант III).

Если применяются только одни коронирующие электроды (вариант II), то желательно установить и пластинку, которую следует заземлить или при наличии второго выпрямителя соединить с положительным полюсом. Это позволяет получить большую эффективность зарядки.

Итак, описанный электрораспылитель позволяет получать при помощи простых электродов и сравнительно низких высоких напряжений электрически униполярно заряженные распыленные жидкости любой электропроводимости. Приставка с индуцирующими и коронирующими электродами может быть применена к любому ручному распылителю, аналогичному распылителю типа О-45.

Источниками высокого напряжения служат два выпрямителя высокого напряжения, собранные по схеме умножения напряжения с максимальными выходными напряжениями на 6 и 12 кв. Экспериментально установлено, что для зарядки красок, удельное сопротивление которых $\rho_v < 10^7 \div 10^8$ ом см, целесообразнее применять индуцирующие электроды, а для зарядки остальных красок — коронирующие электроды. В целях универсального использования электрораспылителя те и другие электроды могут применяться совместно. Высокое напряжение на окрасочной камере может быть получено либо частичным оседанием на ней заряженной краски, либо внешним источником питания.

Процент осаждения краски на окрашиваемые изделия иногда будет больше, если на камеру подать напряжение от соответствующего источника высокого напряжения. В качестве последнего может служить, например, выпрямитель аппарата для франклинизации и аэроонизации с максимальным выходным напряжением 50 кв. При этом часть краски оседает также на стенки камеры, но уже в меньшем количестве. Осевшая на стенки краска и в том, и другом случае стекает вниз в специальный сосуд для дальнейшего использования.

Принцип электроокраски заключается в следующем. Если в окрасочную камеру, на которую подано высокое напряжение, на конвейере поступает изделие (изделие и конвейер должны быть заземлены), то вокруг него образуется сильное электрическое поле. Если теперь факел электрически заряженной краски направить в окрасочную камеру, то указанное поле будет направлять краску на окрашиваемые поверхности (заряды краски и камеры одного знака). При этом краска притягивается к изделию, образуя равномерное покрытие, которое качественно лучше, чем покрытие, полученное обычными способами окраски.

Процент электрического осаждения краски в камере на окрашиваемые поверхности будет тем больше, чем больше напряжение и чем меньше скорость потока распыленной краски в зоне окраски. Это положение вытекает из рассматривания осаждения аэрозолей под действием электрического поля [16]. Но, с другой стороны, доля заряженной краски, попавшей в камеру, зависит от вышеуказанных величин (напряжения на камере, электрической подвижности капелек и скорости потока распыленной краски при входе в камеру) обратным образом по сравнению с процентом электрического осаждения.

Экспериментально можно определить оптимальные значения напряжения на окрасочной камере и скорости потока частиц заряженной краски.

В целях увеличения процента осаждения проход изделий через экспериментальную камеру окружен сеткой, как было указано выше. При определенном напряжении, зависящем от расстояния между изделиями и сеткой, диаметра проволок сеток и чистоты воздуха в камере, сетка начинает коронировать — от сетки к изделиям идет поток ионов воздуха. Последнее обстоятельство усиливает еще эффект осаждения краски на окрашиваемые поверхности, так как в зоне окраски происходит добавочная зарядка распыленной, уже заряженной электрораспылителем краски.

Необходимо отметить, что при окраске изделий, имеющих острые кромки, углы и др., на них может образоваться так называемая обратная корона. При этом краска отталкивается от изделия (острой кромки), не окрашивая его. Поэтому окраска таких изделий требует применения меньшего напряжения.

Вообще напряжение на камере и расстояния между изделиями и проволоками сетки должны быть такими, чтобы не возникало искрового пробоя. При распылении лакокрасочных материалов, растворители которых легко воспламеняемы, необходимо предусмотреть включение в электрическую схему искропредохранителя.

Экспериментировался также следующий вариант электроокраски. Окрасочная камера подвешена на изоляторах, но напряжение непосредственно на нее не подают. Если факел электрически заряженной краски от электрораспылителя направить в камеру, то часть заряженной краски, благодаря потоку воздуха и электростатическому рассеянию [17], будет оседать на внутренние стенки камеры, отдавая последней электрический заряд. В результате этого потенциал камеры возрастает. Как показали эксперименты, потенциал камеры растет до определенного предела, хотя электрически заряженные частицы продолжают направлять в камеру. При этом предел потенциала тем выше, чем больше скорость заряженных частиц, направляемых в камеру, и чем меньше их электрическая подвижность. Предел

потенциала обусловлен действием встречного поля со стороны камеры на заряд факела краски. Действие встречного поля можно в некоторой степени ослабить при помощи особого заземленного кольца, помещенного между камерой и электрораспылителем. Вопросы теории переноса зарядов в подобных случаях рассмотрены Буркгардтом [17] и Стюцером [21].

Скорость возрастания потенциала на камере очевидно тем больше, чем меньше электрическая емкость камеры и чем больше сила тока, обусловленного потоком заряженных частиц от электрораспылителя. Электрическая емкость описываемой окрасочной камеры 170 пф, предельный потенциал (30—35 кв) камеры (без конвейера) при силе тока 4 мка от электрораспылителя устанавливается через 3—4 сек. Таким образом, часть заряженной краски, оседающей на стенки окрасочной камеры, создает вокруг окрашиваемого изделия электрическое поле, направляющее остальную часть краски на изделие. При прохождении изделий через камеру предельное напряжение на ней равно приблизительно 20 кв.

С помощью экспериментальной установки испытывалась окраска как металлических, так и деревянных изделий, причем применялись различные по токопроводимости лакокрасочные материалы. Во всех случаях получен значительный эффект по осаждению распыленных красок на окрашиваемые поверхности. Полученные покрытия почти равномерны со всех сторон.

Как показали эксперименты, средний процент осаждения краски на изделие при электроокраске в 2,5—3 раза больше, чем при окраске без зарядки. При огнеопасных и быстросохнущих красках используются рамки (сетки) из тонкой проволоки, окружающие зону окраски. На рамки подается напряжение от внешнего источника высокого напряжения. Устройство снабжается соответствующей системой вытяжной вентиляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хромов Л. М., Информационное сообщение № 3(9) 1959.
2. Бочков А. Д., Окрашивание деталей в электрическом поле. М., 1958.
3. Применение метода электростатического окрашивания различных изделий в Австралии и Италии. ЦНИЛ в/к «Лакокраскопокрытие», М., 1957.
4. Техника окраски в электрическом поле за рубежом, М., 1958.
5. Окраска в электростатическом поле с применением чашечного распылителя, Информационный листок по обмену опытом. Выпуск 24—25, М., 1958.
6. Рахманов И. С., Современные европейские установки для окраски в электростатическом поле, М., 1958.
7. Electr. Rev., 166, 8, 337 (1960).
8. Фр. пат. 1237737, 1960.
9. Фр. пат. 1234218, 1960.
10. Фр. пат. 1234788, 1960.

11. Metal Finish, 53, 8, 75 (1960).
12. Гойхин А. Н., Дашевский Р. М., Окраска в электростатическом поле. Пермь, 1958.
13. Пустовалов В. И., Кравченко М. Б., Окраска в электростатическом поле. Харьков, 1960.
14. Комплект оборудования для окраски изделий в электростатическом поле. Нинтавтопром, 1960.
15. Таммет Х. Ф., Индукционная электризация при распылении жидкостей (в этом же сборнике трудов).
16. Капцов Н. А., Коронный разряд и его применение в электрофильтрах. М.-Л., 1947.
17. Burkhardt, E., Ann. d. Phys. (5) 23, 1935.
18. Лившиц М. Н., Электрические методы окраски, эмалирования и глазуирования изделий, М., 1956.
19. Фукс Н. А., Механика аэрозолей, М., 1955, 112.
20. Фукс Н. А., Механика аэрозолей, М., 1955, 104.
21. Stuetzer, O. M., Review of Scientific Instruments, 1, 1961.

EKSPERIMENTAALNE SEADELDIS VÄIKESTE ESEMETE ELEKTROSTAATILISEKS VÄRVIMISEKS

L. Visnapuu ja J. Reinett

Resümee

On välja töötatud lihtne seadeldis, mille kasutamisel tavalisi värvipüstoleid saab muuta elektrostaatilisteks värvipüstoliteks.

Lisaseadeldis on nii konstrueeritud, et värvainepihu unipolaarseks laadimiseks võib kasutada niihästi induktsioonimeetodit kui ka koroonalahendust, mistõttu võib elektriliselt laadida igasuguse elektrijuhtivusega värvainepihu.

Seadeldis võimaldab värvainepihu elektrilisel laadimisel kasutada tunduvalt madalama väljundpingega alaldajaid, võrreldes senituntud elektrostaatiliste värvipüstolite juures kasutusel olevate alaldajatega.

Väikeste esemete (detailide) elektrostaatilisel värvimisel kasutatakse värvimiskambrit, mille seintele tekitatakse kõrgepinge kas elektrostaatilise generaatori abil või unipolaarselt laetud värvainepihuga.

Värvimiskamber, mis tekitab maandatud konveieril liikuvate esemete ümber vajaliku elektrivälja ja koroonalahenduse, on mitteleplahvatavate ja aeglaselt kuivavate värvainetega (vesivärvidega) värvimisel ühtlasi kasutamata jäänud värvaine kogujaks.

Tuleohtlike ja kiiresti kuivavate värvainetega värvimisel kasutatakse värvimiskambri asemel värvimistsoonis ülipeenest traadist spiraale, millele antakse kõrgepinge elektrostaatilisest generaatorist, kusjuures värvimistsooni ümbritseb nõuetekohane ventilatsioon.

AN EXPERIMENTAL DEVICE FOR THE ELECTROSTATIC PAINTING OF SMALL OBJECTS

L. Visnapuu and J. Reinet

S u m m a r y

A simple device has been constructed the use of which makes it possible to change ordinary spray-guns into electrostatic spray-guns.

The additional device has been so constructed that the inductive method as well as the corona discharge can be used for the unipolar charging of the spray of a paint on account of which it is now possible to charge electrically the spray of paints of any electrical conductivity.

The above device enables one in electrically charging the spray of a paint to use rectifiers of a considerably lower output voltage than the rectifiers used with the hitherto known electrostatic spray-guns.

When painting small objects electrostatically, one uses a painting chamber on the walls of which one produces a high voltage either by an electrostatic generator or by the spray of a paint that has been unipolarly charged.

The painting-chamber which generates the necessary electric field round the objects moving on a grounded conveyor belt as well as a corona discharge is in case of painting with non-explosive and slowly drying paints (water-colours) at the same time a means of collecting the unused paint.

When painting objects with inflammable and rapidly drying paints, one uses in place of a painting chamber spirals of exceedingly fine wire which are given a high voltage from the electrostatic generator while the zone of painting is surrounded by up-to-date air-conditioning.

НЕЙТРАЛИЗАТОР СТАТИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ

Т. Р. Пярик и Я. Ю. Рейнет

На бумажных фабриках и в типографиях во время производственного процесса возникают статические заряды, которые понижают производительность труда, качество изделий и обуславливают брак. Возникновение порой весьма мощных зарядов таит в себе опасность пожара. Поэтому ликвидации статического заряда уделяется большое внимание.

Разработано много конструкций нейтрализаторов, но все же необходимо дальнейшее усовершенствование их для повышения эффективности нейтрализации [1; 2; 3; 4; 5; 7]. В типографиях наиболее обширное применение находят коронные нейтрализаторы, дающие сильный ионизационный ток на заряженную бумагу.

Коронные нейтрализаторы можно применять и в других отраслях промышленности, но не во взрывоопасных средах. Эксперименты в этом направлении проведены, но окончательное решение еще не найдено [2; 7].

Коронные нейтрализаторы можно разделить на две большие группы:

1. Индукционные нейтрализаторы [1; 2; 3; 7].

2. Нейтрализаторы с высоким напряжением.

Нейтрализаторы с высоким напряжением подразделяются еще на следующие подгруппы:

- а) нейтрализаторы с переменным напряжением [1; 2; 3; 4; 5; 7],

- б) нейтрализаторы с постоянным напряжением [2; 3; 7],

- в) высокочастотные нейтрализаторы [2; 3; 4; 5].

Каким нейтрализатором пользоваться, это зависит от конкретной обстановки и эффективности нейтрализатора.

Проверку эффективности нейтрализатора надо осуществлять в условиях, близких к эксплуатационным. Подходящим оказывается метод, где измеряется униполярный ионизационный ток на пластину, которая имитирует заряженную бумагу или ткань. Мерой эффективности каждого нейтрализатора является величина ионизационного тока и характер зависимости его от напря-

жения наэлектризованного материала. Этим методом пользовались И. Шиморда, И. Староба [2] и Р. Бич [1]. В настоящей работе использован тот же самый метод, схема которого дана на рис. 1.

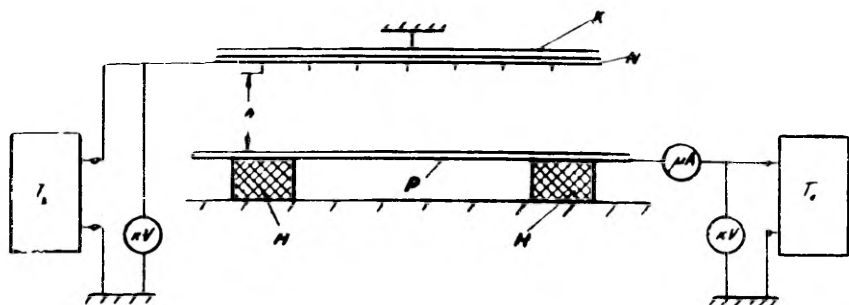


Рис. 1. Схема проверки эффективности нейтрализатора. Н — игольчатые разрядники, К — заземленный кожух, Н — изоляторы, Р — измерительный электрод (пластина размером 50×100 см), T_1 — источник постоянного напряжения, T_2 — источник питания нейтрализатора, h — расстояние до нейтрализатора.

Метод А. Беркута [4] и В. Егорова [5] состоит в том, что измеряется время, необходимое для снятия статического заряда. Принципиально метод осуществим, но в лаборатории возникают трудности при заряджении бумаги до потенциалов, возникающих в производственных процессах. Однако эффективность нейтрализатора необходимо проверять и при высоких потенциалах на электризованных поверхностях.

Метод, предлагаемый П. Полоником [3], заключается в определении ионизационной способности ионизатора, но не эффективности нейтрализатора. П. Полоник измеряет ионизационный ток на пластины воздушного конденсатора. Для определения эффективности нейтрализации надо измерить величину униполярного ионизационного тока на заряженную поверхность. К сожалению, в этой работе [3] очень мало материала для того, чтобы проанализировать более подробно полученные результаты. Ясно то, что оптимальным расстоянием нейтрализатора переменного тока от заряженного материала нельзя считать расстояние 15—17 см, как утверждает Полоник. Труды других авторов [1; 2; 4] показывают, что эффективность нейтрализации уменьшается монотонно с увеличением расстояния.

Известно, что самую высокую эффективность имеют нейтрализаторы постоянного напряжения. Но полярность статических зарядов не бывает всегда постоянной, и тогда надо поставить два параллельно работающих нейтрализатора, что во многих случаях невозможно, или сконструировать автоматический переключатель. Однако последний вариант не надежен в работе.

Недостатком индукционных нейтрализаторов является то, что они начинают работать только при высоких потенциалах.

Эффективность высокочастотных нейтрализаторов меньше эффективности нейтрализаторов переменного тока и конструкция их намного сложнее. Поэтому авторами были исследованы возможности усовершенствования нейтрализаторов переменного напряжения. Самую высокую эффективность обеспечивает конструкция, принципиальная схема которой приведена на рис. 2.

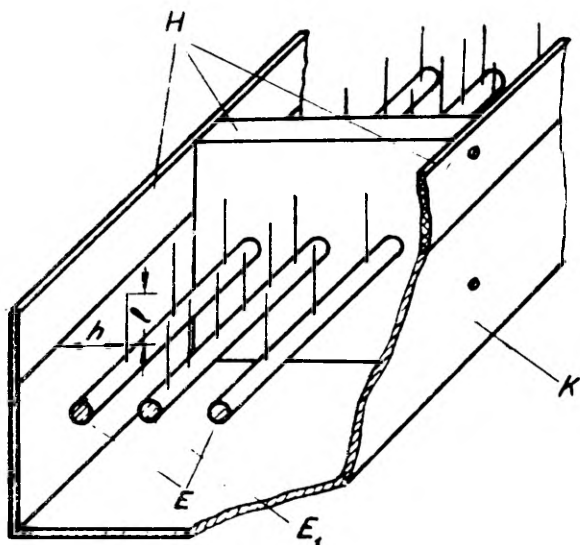


Рис. 2. Расположение острий у нейтрализатора переменного напряжения. К — кожух. Н — изоляторы, E_1 — заземленный электрод (расстояние между остриями 10 мм), Е — электроды, находящиеся под напряжением (расстояние между остриями 20 мм). Расстояние между электродами 10 мм, h — 10 мм, l — 8 мм (поверх края металлического кожуха).

На рис. 3 приведены характеристики нейтрализаторов, полученные по вышеприведенной схеме.

Сравниваем данные с характеристиками ионизатора ВЭА-3 (рис. 4). ВЭА-3 был продемонстрирован Тартуским государственным университетом в 1958 году на Всесоюзной промышленной выставке.* Как видно, данный нейтрализатор переменного напряжения обладает большей эффективностью, чем ВЭА-3, работающий в режиме постоянного напряжения.

* Высокочастотный эффлювиальный аэроионизатор типа ВЭА-3, 1958, Мин-во Высшего образования СССР, Тартуский госуниверситет. Всесоюзная промышлен. выставка, стендовый лист 6. V. 1958 г.

Приведены для сравнения еще характеристики (рис. 5) ионизации описываемого нейтрализатора и нейтрализатора VUP [2]. При низких потенциалах на пластине получена та же самая эффективность, а при высоких потенциалах полученная эффективность была более чем вдвое больше.

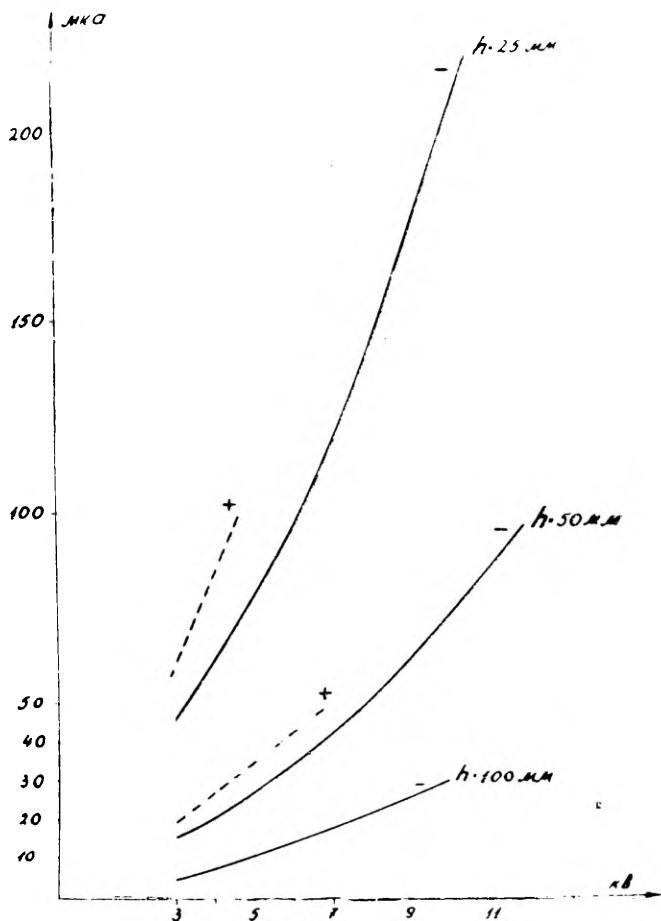


Рис. 3. Характеристики нейтрализатора. Измерительная длина нейтрализатора — 1100 мм. Расстояние до нейтрализатора — h . Напряжение игольчатых разрядников $U_{эф} = 4,0$ кв. Полярность измерительного электрода: — сплошная линия, + пунктирная линия.

Как известно, вблизи коронирующих острий образуются озон и соединения азота, которые в больших количествах вредны для организма человека. Удалять эти газы можно откачивающим насосом (рис. 6) В качестве насоса можно пользо-

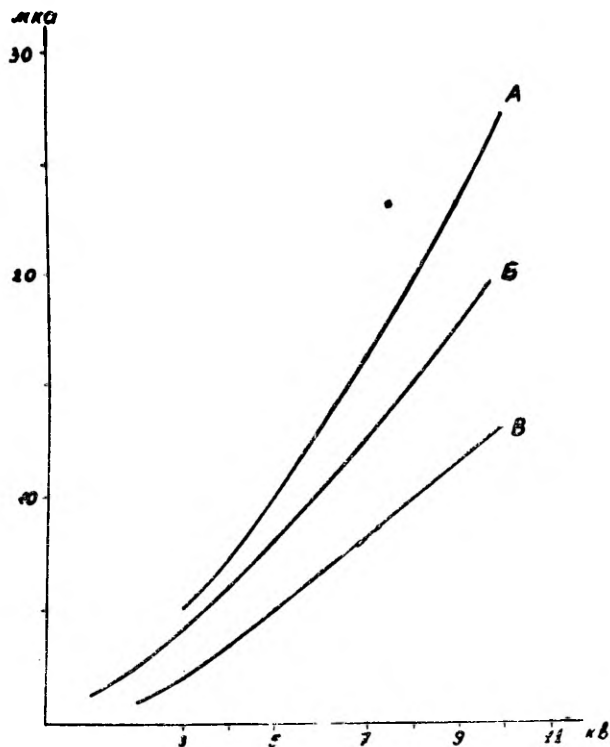


Рис. 4. Характеристики нейтрализатора и ионизатора ВЭА-3. Измерительная длина нейтрализатора — 1000 мм. Расстояние до нейтрализатора $h = 100$ мм. Напряжение игольчатых разрядников $U_{эфф} = 4,0$ кв. Полярность измерительного электрода: А — характеристика данного нейтрализатора. Б — характеристика ВЭА-3 на постоянном напряжении. В — характеристика ВЭА-3 на переменном напряжении.

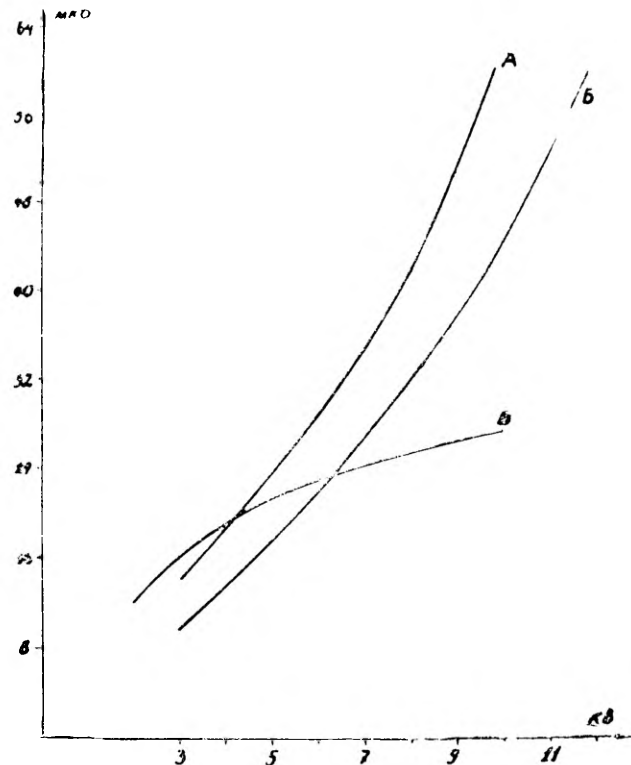


Рис. 5. Характеристики описываемого нейтрализатора и ионизатора ВУР. Измерительная длина нейтрализатора 300 мм. Полярность измерительного электрода: — Расстояние до нейтрализатора — 25 мм. Напряжение при А — 4,5 кв, при Б — 3,5 кв, В — характеристика ВУР. Напряжение трансформатора ВУР — 10 кв.

ваться обыкновенным водяным насосом или пылесосом. Размеры дырок и расстояние между ними рассчитаны так, чтобы воздушный поток по всей длине нейтрализатора был равномерным.

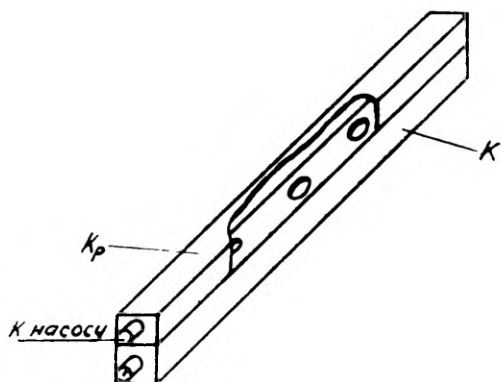


Рис. 6. Коробка, через которую высасываются озон и прочие вредные газы, образующиеся под действием коронного разряда.

К — кожух нейтрализатора. К_р — крышка, плотно прилегающая к кожуху нейтрализатора.

Выводы

Разработан эффективный нейтрализатор статических зарядов переменного напряжения, причем коронный разряд создается переменным высоким напряжением на определенных образом расположенных остриях.

Озон и соединения азота, создаваемые действием коронного разряда, устраняются особым приспособлением при нейтрализаторе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Beach, R., Electrostatic Neutralizer Discharge and Safety Characteristics, Electronics, IV, 1952.
2. Староба, И. и Шиморда, И., Статическое электричество в промышленности, Госэнергоиздат, М.-Л., 1960.
3. Полоник П. А., Электризуемость химических волокон и борьба с ней, Научно-техническое издательство литературы по легкой промышленности, Москва, 1959.
4. Беркут А. Е. и др., Нейтрализаторы статического электричества для машин высокой печати, Лениздат, 1958.
5. Егоров В. Н., Удаление электростатических зарядов путем ионизации воздуха, Электричество, 1956, 12.
6. Дроздов Н. Г., Статическое электричество в промышленности, Госэнергоиздат., М.-Л., 1949.
7. Henry, P. S. H., The elimination of static electricity, Occupational Safety and Health, 1956, 6.

STAATILISTE LAENGUTE NEUTRALISAATOR

T. Pärnik ja J. Reinet

Resümee

On välja töötatud efektiivne vahelduvvoolu-neutralisaator, kusjuures koroonalahendus tekitatakse vahelduva kõrgepinge abil teravikel, mis on erilisel viisil paigutatud neutralisaatorisse (pingestatud teravikud ümbritsevad maandatud teravikke).

Osoon ja lämmastikühendid, mis on tekitatud koroonalahenduse toimel, kõrvaldatakse sama neutralisaatori kaudu spetsiaalse lisaseadeldise abil.

NEUTRALIZER OF STATIC CHARGES

T. Pärnik and J. Reinet

Summary

An efficient neutralizer of the alternating current has been designed in which the corona discharge is brought about by means of an alternating high voltage on sharp points which have in a special way been placed in the neutralizer (the charged sharp points surround the grounded sharp points)

Compounds of ozone and nitrogen which have been produced by the action of a corona discharge are removed through the same neutralizer by means of a special additional device.

Оглавление

1. Я. Ю. Рейнет, П. К. Прюллер и О. В. Сакс. О научно-исследовательских работах в области естественной и искусственной аэроионизации и электроаэрозолей в Тартуском государственном университете	3
J. Reinet, P. Prüller ja O. Saks. Õhuionisatsiooni- ja elektroaerosoolidealastest uurimistöödest Tartu Riiklikus Ülikoolis	14
J. Reinet, P. Prüller and O. Saks. On the Study of Aeroionization and Electroaerosols at Tartu State University	15
2. П. К. Прюллер, Э. И. Раудам, Я. Ю. Рейнет и Э. К. Сийрде. Генерирование, физиологическое действие и терапевтическое применение электроаэрозолей	16
P. Prüller, E. Raudam, J. Reinet ja E. Siirde. Elektroaerosoolide genereerimine, nende füsioloogiline toime ja terapeutiline rakendamine	35
P. Prüller, E. Raudam, J. Reinet and E. Siirde. The Generation of Electroaerosols, Their Physiological Effect and Therapeutical Application	36
3. Я. Ю. Рейнет и Я. И. Сальм. Переносный счетчик атмосферных ионов	37
J. Reinet ja J. Salm. Kantav atmosfääriioonide loendaja	45
J. Reinet and J. Salm. Portable Counter of Atmospheric Ions	45
4. Х. Ф. Таммет. Воздействие объемного заряда в аспирационных счетчиках аэроионов	46
H. Tammet. Ruumlaengu mõju aeroioonide aspiratsioonloendajates	60
H. Tammet. The Influence of Space Charge in Aspiration Counters of Air Ions	60
5. Я. И. Сальм и Э. И. Тамм. О роторных гидроионизаторах	62
J. Salm ja E. Tamm. Rootorhüdrioonisaatoritest	70
J. Salm and E. Tamm. On the Rotor-Hydro-Ionizers	70
6. Я. Ю. Рейнет, В. А. Резбен и Э. И. Тамм. Ионизатор медицинского кислорода	71
J. Reinet, V. Reeben ja E. Tamm. Meditsiiniline hapnikuionisaator	80
J. Reinet, V. Reeben and E. Tamm. Medical Oxygen Ionizer	80
7. Я. Ю. Рейнет, Э. И. Тамм и А. К. Сузи. Генератор электроаэрозолей для аппаратов искусственного дыхания типа ДП-1 и ДП-2	81
J. Reinet, E. Tamm ja A. Susi. Elektroaerosoolide generaator kunstliku hingamise aparaatidele	89
J. Reinet, E. Tamm and A. Susi. A Generator of Electroaerosols for Artificial Breathing Apparatus	89
8. Х. Ф. Таммет. Индукционная электризация при распылении жидкостей	90
H. Tammet. Induktsioonelektriseerimine vedelike pihustamisel	95
H. Tammet. Induction-electrization at the Atomization of Liquids	95

9.	В. Я. Карк, Э. Э. Пауксон и Я. Ю. Рейнет. Получение электроаэрозолей ультразвуковым распылением	96
	V. Kark, E. Paukson ja J. Reinet. Elektroaerosoolide saamine pihustamisel ultraheliga	101
	V. Kark, E. Paukson and J. Reinet. Generation of Electroaerosols by Ultrasound	102
10.	Х. Ф. Таммет. Удаление ионов от аэроионизаторов	103
	H. Tammet. Ioonide eemaldamine aeroionisaatorist	111
	H. Tammet. Removal of Ions from an Air Ion Generator	112
11.	Я. Ю. Рейнет, В. В. Корнель, Ю. Х. Пускар и М. Л. Вахеметса. Ионизационные детекторы к газовому хроматографу	113
	J. Reinet, V. Kornel, J. Puskar ja M. Vahemetsa. Ionisatsioonidetektorid gaaskromatograafidele	119
	J. Reinet, V. Kornel, J. Puskar and M. Vahemetsa. Ionization Detectors for Gas-Chromatographs	119
12.	Л. Ю. Виснапуу и Я. Ю. Рейнет. Экспериментальная установка для электроокраски мелких изделий	120
	L. Visnapuu ja J. Reinet. Eksperimentaalne seadeldis väikeste esemete elektrostaatiliseks värvimiseks	130
	L. Visnapuu and J. Reinet. An Experimental Device for the Electrostatic Painting of Small Objects	131
13.	Т. Р. Пярник и Я. Ю. Рейнет. Нейтрализатор статических зарядов	132
	T. Pärnik ja J. Reinet. Staatiliste laengute neutralisaator	138
	T. Pärnik and J. Reinet. Neutralizator of Static Charges	138

Тартуский государственный университет

Тарту, ул. Юликооли, 18

ТРУДЫ ПО АЭРОИОНИЗАЦИИ
И ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЯМ

На русском, эстонском и английском языках

Ответственный редактор В. Карк

Корректоры Л. Брафманн и Э. Выханду

Ladumisele antud 16. X 1962. Trükkimisele antud 19. VII 1963. Paber 60×90, 1/16. Trükipoog-
nald 8,75. Arvutuspoognald 7,5. Trükiarv 500. MB 05492. Tellimise nr. 8412. Hans Heidemanni
nim. trükikoda. Tartu, Olikooli 17/19. I

Hind 45 kop.